



Naturalis

Repositorio Institucional

<http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar>

Universidad Nacional de La Plata

Facultad de Ciencias Naturales y Museo



Evaluación geohidrológica en la Región Costera Oriental de la Provincia de Buenos Aires : caso de estudio: Pinamar

Rodrigues Capítulo, Leandro

Doctor en Ciencias Naturales

Dirección: Kruse, Eduardo

Co-dirección: Pousa, Jorge

Facultad de Ciencias Naturales y Museo

2015

Acceso en:

<http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/id/20160225001428>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional



Naturalis

Repositorio Institucional
FCNyM - UNLP



TESIS DOCTORAL

EVALUACIÓN GEOHIDROLÓGICA EN LA REGIÓN COSTERA ORIENTAL DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

CASO DE ESTUDIO: PINAMAR



Lic. Leandro RODRIGUES CAPÍTULO

Director Dr. Eduardo Kruse / Co-Director Dr. Jorge Pousa.

Universidad Nacional de La Plata – FCNyM - 2015



A mis seres queridos...

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas y organismos que han colaborado en la realización de este trabajo de tesis.

A mis padres Alberto y Nora por haberme hecho creer que podía realizar este trabajo, por el constante e incansable apoyo brindado durante todo este tiempo, y por haber sido un pilar fundamental en todo este proceso de crecimiento profesional.

A mi hermana Valeria, por haberme seguido tan de cerca todos estos años y por la ayuda en la edición final del libro.

A mis directores de tesis, en especial a Eduardo por haber depositado en mi tanta confianza desde el inicio, por la transferencia de conocimiento, por su excelencia y paciencia en la dirección y en particular por su calidad humana.

A Florencia por soportarme en este último tramo y por hacerme reír todos los días.

A Daniel, por su papel de papa postizo, compañero y amigo, por la enseñanza de la práctica profesional y sus lecciones de vida.

A mis amigos quienes han brindando y demostrado su apoyo e interés desde el inicio de la tesis.

A Patricia por su calidez humana y por la ayuda en el análisis e interpretación de los ensayos de bombeo. A Luis por su aporte en las tareas de modelado geológico.

A Silvina, por el intercambio de ideas y en especial por haberme iniciado en los sistemas de información geográfica.

A Santiago por explicarme el arte de la geoeléctrica y por su apoyo en las tareas de campo.

A Pablo, quien ha demostrado su apoyo voluntario e incondicional en todas las tareas de campo y que ha resultado un engranaje necesario en todo el desarrollo de la tesis ya sea desde la logística en la localidad de Pinamar como así también por su aporte geológico en las ideas que también han sido plasmadas en este libro. Quiero hacer extensivos los agradecimientos a Marcela y a su familia por el esfuerzo.

A Alfredo, quien ha ofrecido su apoyo voluntario desde el inicio del proyecto brindándome alojamiento en el Hotel Libertador, demostrando su compromiso genuino con la gestión y concreción de este proyecto.

A Kaita, quien desde su rol en la gestión pública ha resultado el nexo necesario con la Municipalidad de Pinamar, por el apoyo y la calidez demostrada durante todos estos años.

A la Sociedad de Fomento de Cariló por haber hecho llegar su preocupación por la temática hídrica siendo el puntapié inicial de este proyecto, en especial al Dr. Schudel por su gestión, y al Sr. Lesca por su apoyo.

Al Honorable Concejo Deliberante del Partido de Pinamar por incluir la problemática hídrica en los temas de agenda.

A Eugenio y a Iván por mostrarse interesados por el proyecto, hago extensivos los agradecimientos al personal de la CALP por su apoyo.

A Cristina por la transferencia de conocimiento en los temas relacionados con el análisis e interpretación de los datos isotópicos en las aguas subterráneas.

Al personal del ILPLA, en especial al Dr. Mariñelarena y a su equipo técnico por la enseñanza del método y su entrega en las determinaciones de la serie nitrogenada. Hago extensivos mis agradecimientos a los laboratorios de Bentos y Plancton quienes han demostrado interés desde el comienzo del proyecto.

Al personal de TELPIN S.A. por el aporte de información meteorológica.

A la Cátedra de Hidrología General (FCNyM) por brindarme el espacio y las herramientas necesarias para llevar a cabo las tareas de campo y de gabinete.

A la Universidad Nacional de La Plata, en particular al personal del departamento de Posgrado de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo por el seguimiento de este trabajo.

Al Concejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por haber financiado esta investigación.

RESUMEN

La explotación intensiva, la falta de estudios de evaluación que apoyen la planificación y gestión de los recursos, la falta de redes de monitoreo son rasgos comunes en distintos acuíferos costeros a nivel mundial. Además el agua subterránea en las regiones litorales presenta características particulares en relación a la génesis y a su comportamiento hidrológico. Esta situación general es aplicable a la costa oriental de la Provincia de Buenos Aires, donde se desarrolla un cordón costero que almacena la única fuente disponible de agua dulce para satisfacer la demanda hídrica de la población. El objetivo de este trabajo fue precisamente evaluar dicha fuente en el Partido de Pinamar, incluyendo a sus condiciones naturales y a las modificaciones antrópicas.

Con esta finalidad se ha generado información básica para alcanzar aportes que permitan avanzar en el conocimiento geohidrológico de la región. Se destaca que entre septiembre de 2011 y marzo de 2015, las tareas realizadas incluyeron, entre otras, la ejecución de 47 perforaciones de estudio mediante técnicas manuales y rotativas, tanto someras (hasta 15 m) como profundas (hasta 50 m); se instaló una red monitorea de aguas subterráneas que consta de 63 pozos; se determinaron los parámetros T, K, S, T' y K' a partir de ensayos de bombeo en distintos niveles acuíferos y se realizaron sondeos eléctricos verticales y tomografías eléctricas para complementar la caracterización hidrogeológica. Además se confeccionaron perfiles litológicos que posibilitaron la obtención de un modelo geológico 3D, se llevaron a cabo campañas de relevamiento topográfico, se instalaron dos estaciones meteorológicas en Pinamar y Cariló, se obtuvieron registros mensuales de niveles en la red de monitoreo y se emplearon registradores automáticos para obtener las variaciones en escalas de tiempo menores (horaria). La caracterización hidroquímica e isotópica incluyó muestreos periódicos y perfilajes en los pozos más profundos. A partir de ello, de la elaboración de los datos generados, de la información de imágenes de satélite y de antecedentes asociados a la problemática se formuló un modelo conceptual del comportamiento de las aguas subterráneas.

El sistema geohidrológico de mayor interés aplicado y ambiental se desarrolla hasta una profundidad del orden de los 50 m. Geológicamente incluye unidades del Pleistoceno superior y Holoceno asociadas a procesos transgresivos y regresivos presentando fuertes variaciones laterales tanto en espesores como en su composición litológica.

Este esquema desde un punto de vista hidrogeológico permite diferenciar en orden de profundidad distintos niveles, uno acuífero superior que contiene a la zona no saturada y a la capa freática (hidrofacies A: arena fina con conchilla); uno acuitardo (hidrofacies B: arcilla gris con intercalaciones arenosas); uno acuífero intermedio (hidrofacies C: arenas medias); uno acuitardo (hidrofacies D: limos arcillosos con carbonatos), con intercalaciones de un acuífero (hidrofacies E: lentes arenosas muy finas). El sistema se caracteriza por su continuidad hidráulica, con una conexión variable entre los niveles acuíferos, la cual es función de las

variaciones laterales y de espesor en los niveles acuitardos. La única fuente de recarga natural del sistema son las precipitaciones, a través de la infiltración directa de los excesos de agua. La recarga de las unidades profundas es por filtración vertical en forma indirecta desde la capa freática.

El flujo subterráneo de la capa freática (hidrofacies A) se produce hacia el este (mar) y hacia al oeste (continente) a partir de una divisoria de agua subterránea que tiende a coincidir con las máximas alturas topográficas del cordón costero.

El sistema descrito se caracteriza por su alta sensibilidad a cualquier modificación antrópica, así como también por su alta vulnerabilidad frente a los procesos que ocurren en superficie. La forestación, urbanización y médanos con escasa vegetación imponen distintas condiciones de infiltración que se reflejan en el flujo freático. La explotación de agua subterránea provoca conos de depresión que se manifiestan en las fluctuaciones de los niveles freáticos y los niveles más profundos. La planta de tratamiento de líquidos cloacales genera una recarga artificial que también se evidencia en el flujo subterráneo. Las características hidroquímicas e isotópicas confirman las condiciones de recarga y flujo subterráneo. Las actividades antrópicas relacionadas con la explotación del agua subterránea, la recarga desde la planta de tratamiento y la urbanización carente de servicios de saneamiento tienen implicancias en la composición química e isotópica del agua. Otro de los efectos asociados a la explotación se verifica a partir del avance de un frente salino identificado por cambios significativos de la conductividad eléctrica en profundidad en Pinamar, Valeria del Mar y Cariló.

La disminución de las reservas de agua dulce en los sitios de mayor uso del recurso, asociado a la profundización de los niveles someros y profundos, a una incipiente salinización en la zona costera y a los indicios de afectación de la calidad química del agua subterránea, indican la necesidad de definir pautas de manejo del agua tendientes a un uso sustentable del recurso hídrico. Ello incluye, entre otras pautas, definir caudales de extracción, fijar distanciamientos óptimos entre perforaciones, definir perímetros de protección y operar el sistema de monitoreo hidrodinámico e hidroquímico. Por otra parte se requiere una planificación racional del uso del suelo y la protección ambiental de las reservas de agua dulce con la delimitación de áreas de seguridad en las zonas de captación que eviten los procesos de urbanización y otras actividades que puedan afectar al sistema de aguas subterráneas.

ABSTRACT

The intensive exploitation, the lack of evaluation studies which support the planning and management of resources and the lack of monitoring network are common features in different coastal aquifers worldwide. Moreover, the groundwater in coastal regions has special features in relation to the origin and its hydrological behavior. This general situation is applicable to the eastern coast of the Province of Buenos Aires, where a coastal ridge which stores the only available source of freshwater to meet the water demand of the population is developed. The purpose of this study was precisely to evaluate such source in the district of Pinamar, including its natural conditions and anthropic changes.

With this purpose, basic information has been generated in order to achieve some contribution to advance in the geohydrological knowledge of the region. It should be noted that between September of the year 2011 and March of the year 2015, the tasks which were performed included, among others, the execution of 47 study drillings through rotating and manual techniques, which are shallow (up to 15 m) as well as deep (up to 50 m); a monitoring network of groundwater which has 63 wells was installed; the parameters T, K, S, T' and K' from pumping tests were determined in different aquifers levels, and vertical electric sounding and electric tomographies were made in order to complement the hydrogeological characterization. In addition to this, lithological sections which allow obtaining a 3D geological model were made, topographic survey campaigns were performed, two weather stations were installed in Pinamar and Carilo, monthly records of the monitoring network levels were obtained, and loggers were used to obtain variations in minor time scales. The hydrochemical and isotopic characterization included regular sampling and logging in the deepest wells. From the elaboration of the information which was generated, from the information obtained from satellite images and from information background related to the problem, a conceptual model of the groundwater behavior was formulated.

The environmental and applied geohydrological system of great interest is developed up to a depth of around 50m. Geologically, it includes upper Pleistocene and Holocene units related to transgressive and regressive processes, presenting strong lateral variations in thickness as well as its lithological composition.

From a hydrogeological point of view, this scheme allows to differentiate several levels in order of depth: an upper aquifer which contains the unsaturated area and the water table (hydrofacies A: fine sand with shell sand); an aquitard (hydrofacies B: grey clay with sand intercalation); a middle aquifer (hydrofacies C: average soft sand); an aquitard level (hydrofacies D: clay silts with carbonates), with intercalations of an aquifer (hydrofacies E: very fine sand lens). The system is characterized by its hydraulic continuity, with a variable connection between the aquifers levels, according to the thickness and lateral variations in the aquitard levels. The only source of natural recharge of the system is the rainfall, through the direct infiltration

of water excess. The recharge of deep units is by means of vertical filtration and indirectly from the phreatic aquifer.

The groundwater flow (hydrofacies A) occurs to the east (sea) and to the west (continent) from a groundwater divide which tends to coincide with highest topographic heights of the coast ridge.

The described system is characterized by its high sensitivity to any anthropic change, as well as its high vulnerability to the processes occurring on the surface. The forestation, urbanization and sand dunes with scarce vegetation impose different infiltration conditions which are reflected in the water table. The groundwater exploitation causes cones of depression which appear in fluctuations of the water heads and the deepest aquifer. The sewage treatment plant creates an artificial recharge which is also shown in the groundwater flow. The hydrochemical and isotopic characteristics confirm the groundwater flow and recharge conditions. The anthropic activities related to the exploitation of the groundwater, the recharge from the treatment plant and the urbanization lacking sanitation services have implications in the isotopic and chemical composition of the water. Another effect associated with the exploitation is confirmed with the advance of a saline front identified by significant changes in the electrical conductivity, especially in Pinamar, Valeria del Mar and Carilo.

The decrease in freshwater reserves in areas where the resource is most used, associated with the deepening of shallow and deep levels, an emerging salinization in the coastal area and the signs of impact on the chemical quality of groundwater, indicate the need to define guidelines of the use of water, with the purpose of a sustainable use of the water resource. This includes, among other guidelines, defining flow rates, setting an optimal distance between wells, defining protection perimeters, and operating the hydrodynamic and hydrochemical monitoring system. A rational planning of the use of land is also required and the environmental protection of freshwater reserves with a delimitation of safety areas in exploitation areas which avoid urbanization processes and other activities which may affect the groundwater system.

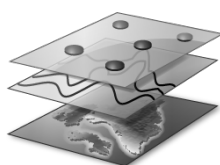
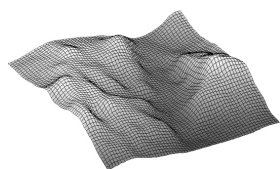
ÍNDICE



RESUMEN

ABSTRACT

1-INTRODUCCIÓN	2
1.1 PLANTEO DEL PROBLEMA	2
1.2 OBJETIVOS	4
1.3 ESTRUCTURA DEL INFORME	6
2-METODOLOGÍA	8
2.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA	8
2.2 RECURSOS CARTOGRÁFICOS	8
2.2.1 CARTAS TOPOGRÁFICAS	8
2.2.2 IMÁGENES SATELITALES	8
2.2.3 MAPAS DE SUELO	9
2.2.4 MAPA BASE	10
2.2.5 INTEGRACIÓN A UN SIG	10
2.3 DATOS Y ELABORACIÓN HIDROMETEROLÓGICA	11
2.3.1 DATOS HISTÓRICOS	11
2.3.2 DATOS ACTUALES	13
2.3.3 BALANCES HIDROLÓGICOS	13
2.4 RELEVAMIENTOS TOPOGRÁFICOS	15
2.5 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	19
2.5.1 EJECUCIÓN DE PERFORACIONES	19
2.5.2 RELEVAMIENTOS GEOELÉCTRICOS	21
2.5.3 PERFILES GEOLÓGICOS	27
2.5.4 MODELADO GEOLÓGICO 3D	28
2.6. INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO	31
2.7 MUESTREOS Y MEDICIONES DE NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA	36
2.7.1 REGISTRADORES CONTÍNUOS (DIVERS)	36
2.7.2. MUESTREOS HIDROQUÍMICOS	37
2.8. REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE BOMBEO	39
2.9 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA	44
2.10 ELABORACIÓN HIDRODINÁMICA	45
2.11 ELABORACIÓN HIDROQUÍMICA	46



2.11.1 ANÁLISIS DE COMPONENTES NITROGENADOS	47
2.12 ISOTOPÍA	49
2.13 EVOLUCIÓN POBLACIONAL	50
3- ÁREA DE ESTUDIO	52
3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	52
3.2 RESEÑA HISTÓRICA DEL PARTIDO DE PINAMAR	53
3.3 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA REGIONAL	56
3.4 CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA	60
3.5 SUELOS	64
3.6 GEOLOGÍA	65
3.6.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	65
3.6.2 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA PLEISTOCENA – HOLOCENA	69
4-CORDÓN COSTERO	71
4.1 RASGOS GEOMORFOLÓGICOS Y MODIFICACIONES ANTRÓPICAS	71
4.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS	80
4.3 BALANCES HIDROLÓGICOS	81
4.4 PARTICULARIDADES HIDROLITOLÓGICAS	85
4.4.1 CORRELACIÓN DE UNIDADES LITOLÓGICAS	87
4.5 CONFIGURACION LITOLÓGICA	93
4.6 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA PLEISTOCENO – HOLOCENO	95
5-SISTEMA HIDROGEOLOGICO	99
5.1 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	101
5.2 CONFIGURACIÓN HIDROGEOLÓGICA	101
6-HIDRODINÁMICA	106
6.1 FLUJO SUBTERRÁNEO	106
6.2 EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL FLUJO SUBTERRÁNEO	110
6.3 FLUCTUACIONES DE NIVELES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	114
6.4 VARIACIONES AREALES DE NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA	121
6.5 EVOLUCIÓN DE NIVELES EN LA CAPA FREÁTICA Y EN UNIDADES MÁS PROFUNDAS	121
6.6 ESTIMACIÓN DE VARIACIONES EN LA RECARGA	127
6.7 ANÁLISIS DE LOS POZOS DE EXPLOTACION	129



7- CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS	132
7.1 CLASIFICACIÓN HIDROQUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA	132
7.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS	133
7.3 COMPARACIÓN HIDROQUÍMICA ENTRE PARES DE PERFORACIONES (SOMERAS Y PROFUNDAS)	141
7.4 CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS DE LOS NIVELES PROFUNDOS	142
7.5 VARIACIÓN EN LA SALINIDAD EN POZOS PRÓXIMOS A LA COSTA	146
7.6 CARACTERIZACIÓN ISOTÓPICA	150
 8-MODELO CONCEPTUAL	 160
 9- CONCLUSIONES	 166
 10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	 171
 11-ANEXO	 181
IMÁGENES SATELITALES (COMPOSICIÓN DE BANDAS LANDSAT 7 TM)	181
RELEVAMIENTOS GEOELECTRICOS	186
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE BOMBEO	189
RESULTADOS DE LOS MUESTREOS HIDROQUÍMICOS	215

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN





CAPÍTULO 1 | INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEO DEL PROBLEMA

Las zonas litorales han experimentado presiones en sus valores ambientales como resultado del desarrollo histórico de núcleos de población. Este desarrollo ha sido posible, entre otros factores, por la existencia de recursos hídricos, ya sea a través de la utilización del agua superficial o del agua subterránea. El crecimiento económico durante el último siglo ha conllevado una explotación agresiva de estos recursos. Como resultado, las reservas de agua han disminuido y su calidad se ha deteriorado, afectando tanto a su disponibilidad para los usos humanos como para la preservación de los ecosistemas (Kruse y Mas Pla, 2009).

El agua subterránea en las zonas costeras presenta ciertas características particulares desde el punto de vista de la génesis y el funcionamiento de los espacios naturales litorales con ellos relacionados. La gestión eficaz de dichos espacios naturales requiere conocer con detalle la geometría, origen y funcionamiento de los acuíferos (Manzano, 2002).

En general dichos acuíferos costeros se caracterizan por una alta vulnerabilidad (White y Falkand, 2010) y las modificaciones que produce la actividad antrópica en la dinámica del agua subterránea influye en las reservas y calidad química del agua (Schneider y Kruse, 2005).

En Sudamérica presentan algunos rasgos comunes, como ser la explotación intensiva, falta de estudios de caracterización que apoyen la planificación y gestión de los recursos, falta de redes de observación y la necesidad de crear una conciencia sobre la cuestión en la sociedad y su implicación en la planificación del recurso y en los programas de actuaciones de gestión (Bocanegra et al., 2010). Los problemas de calidad y cantidad que aparecen en áreas altamente pobladas que están asociadas a acuíferos costeros sudamericanos, indican un desarrollo no sustentable de las aguas subterráneas

La región estudiada (costa oriental de la Provincia de Buenos Aires) se enmarca en dichos aspectos y se caracteriza por un fuerte crecimiento demográfico, lo cual significa requerimientos crecientes de agua potable asociados a los procesos de urbanización y expansión de las actividades del hombre. Se estima que el Partido de Pinamar cuenta con una población estable de 25.415 habitantes en el censo de 2010, y que a su vez en la época estival, como consecuencia de la presión turística, supera los 500.000 habitantes.

En el sector oriental de la provincia de Buenos Aires, la implantación de áreas forestadas disminuye los excesos de agua como consecuencia de una mayor evapotranspiración, afectando así las posibilidades de alimentación del acuífero freático. La eliminación de dunas influye en el régimen hidrodinámico natural del agua subterránea, ya que decrece la posibilidad de infiltración de las precipitaciones y se restringen las áreas



de recarga y el almacenamiento de agua dulce, al tiempo que puede contribuir al proceso erosivo en la costa (Pousa et al., 2006).

Además resultan de fundamental importancia los efectos sobre la calidad química del agua, cuyo deterioro influye negativamente en las reservas de agua dulce aprovechables. Una explotación intensiva del agua subterránea puede conducir a una fuerte depresión de los niveles freáticos con la consecuente amenaza de la intrusión de un frente de agua salada (mar) o salobre (continental).

Debido al comportamiento hidráulico del acuífero freático, su alta permeabilidad y el espesor de la zona no saturada, el agua dulce disponible es vulnerable a la contaminación. En el actual escenario, el riesgo de contaminación se debe relacionar con la infiltración de sustancias tóxicas, particularmente compuestos nitrogenados de origen antrópico (urbanización, pérdidas de cloacas y depósitos de residuos).

Los trabajos realizados por el CFI en la década de 1980 en la zona costera de Pinamar de la Provincia de Buenos Aires (González Arzac et al., 1993) constituyen la base hidrogeológica de referencia habitual en los estudios de aguas subterráneas de esta zona. En estos trabajos se definen sistemas acuíferos complejos, restringidos al cordón medanoso con límites laterales bien definidos. El comportamiento hidrodinámico tiene una relación directa con la evolución geomorfológica (Parker, 1991, Violante et al., 1995, Violante et al., 2001) de los ambientes costeros.

El comportamiento del acuífero en este ambiente costero involucra procesos complejos que deben ser considerados cuidadosamente para la explotación y gestión de los recursos hídricos subterráneos. Las particularidades de las limitadas reservas de agua dulce y las consecuencias que sobre ellas puede tener tanto los cambios naturales (especialmente variaciones en el nivel del mar) y las acciones antrópicas indican la relevancia que adquiere el problema a investigar.

La necesidad de evaluar el comportamiento global de los acuíferos costeros y las condiciones particulares que presenta el área de estudio seleccionada (Figura 1.1) son los fundamentos más fuertes que han llevado a la elección del tema de la tesis doctoral desarrollada. Resulta imprescindible un conocimiento detallado del ciclo hidrológico en las áreas costeras, como es el caso del Partido de Pinamar, con el fin de desarrollar y mejorar la generación de información, lo cual posibilitará validar modelos de funcionamiento más completos y desarrollar nuevas hipótesis (Dozier, 1992). Además desde un punto de vista de su aplicación se plantea que el conocimiento del medio costero (geología e hidrología), de los procesos hidráulicos (flujo subterráneo, influencia de captaciones) y de los procesos hidroquímicos (calidad del agua, usos) son aspectos fundamentales para alcanzar un uso sostenible de los recursos hídricos subterráneos.



1.2 OBJETIVOS

El objetivo general es evaluar el comportamiento geohidrológico en un sector costero oriental de la Provincia de Buenos Aires, específicamente en el Partido de Pinamar (Figura 1.1), incluyendo a sus condiciones naturales y a las modificaciones derivadas de las actividades antrópicas.

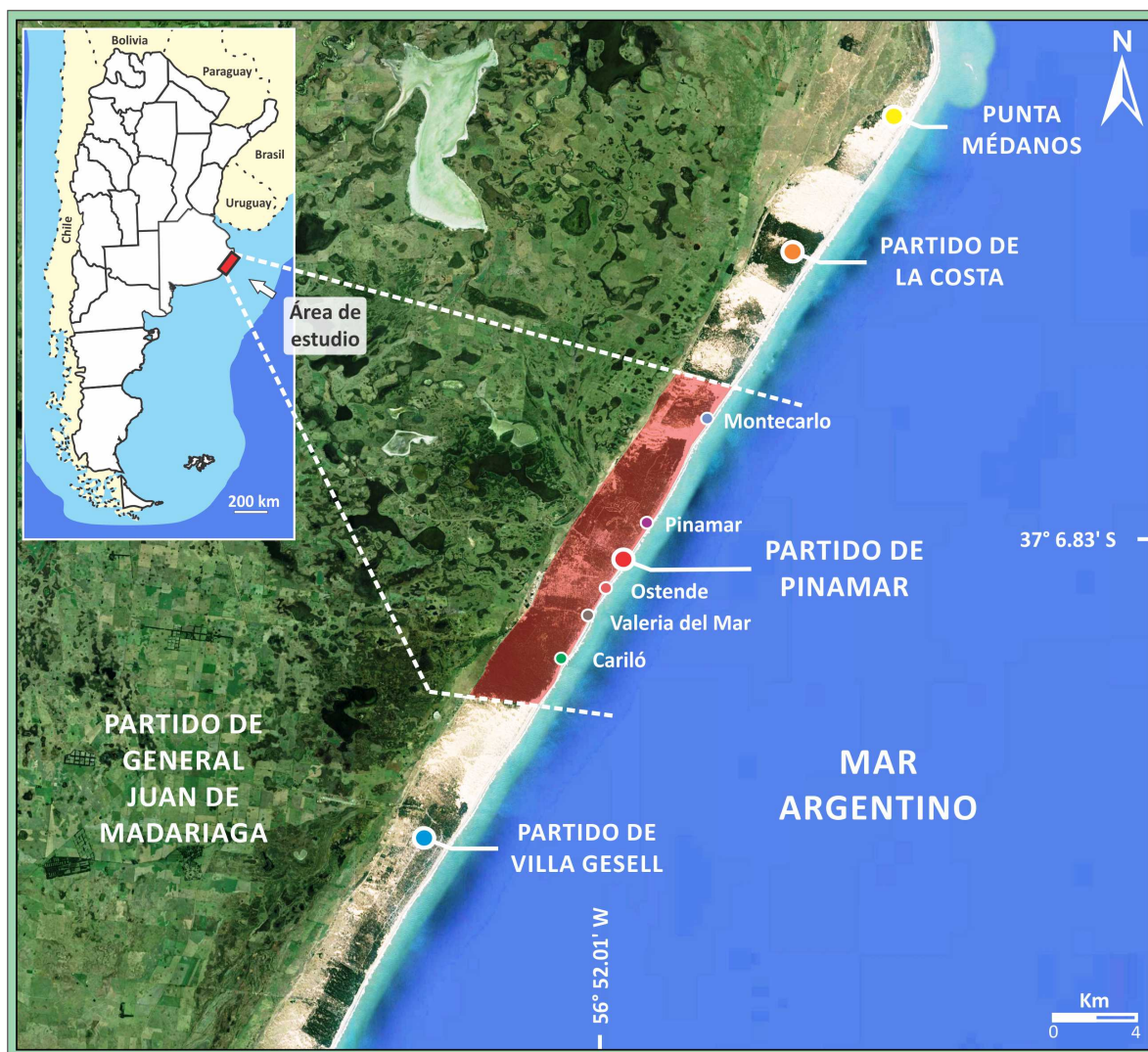


Figura 1.1 Área de estudio. Partido de Pinamar y sus localidades.

En esta región, la única fuente natural para el abastecimiento de agua potable a la población se encuentra almacenada en reservorios restringidos al “cordón costero”. Se requiere conocer en forma detallada los procesos hidrológicos que rigen sus variaciones con el fin de lograr una equilibrada gestión de los escasos recursos hídricos disponibles. Cualquier alteración antrópica que no esté planificada sobre la base de un conocimiento adecuado de los procesos hidrológicos y costeros puede derivar en una pérdida irreversible en las reservas y en la calidad del agua subterránea.



Para contribuir al objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Identificar la influencia de la heterogeneidad regional y local del medio geológico en el sistema acuífero subterráneo.
- Efectuar un diagnóstico del comportamiento hidrodinámico e hidroquímico subterráneo.
- Reconocer las modificaciones al ciclo hidrológico natural producidas por las actividades del hombre (forestación, urbanización, vertidos).
- Definir las variaciones hidrodinámicas e hidroquímicas existentes en las lentes de agua dulce en la interfase con la salada (mar) y con el agua salobre (continental).
- Formular modelos de evolución de la dinámica y química de las lentes de agua dulce y los procesos costeros.
- Identificar indicadores del estado actual y tendencias de la vulnerabilidad y riesgo de los recursos hídricos subterráneos.

1.3 ESTRUCTURA DEL INFORME

El trabajo de tesis se elaboró de acuerdo a una estructura, que contemplando un orden de creciente del grado de conocimiento, permite la asimilación de los conceptos que se plantean. Para cumplir este cometido se creyó conveniente la estructuración de 9 capítulos separados de acuerdo a criterios específicos de la temática desarrollada en cada caso.

En este primer capítulo se analizan los aspectos que han motivado la realización del trabajo, conjuntamente con el planteo del problema y los objetivos correspondientes.

En el segundo capítulo se describen las tareas y actividades que se han llevado a cabo durante la realización de la tesis, cuyo orden es función de la complejidad de la tarea llevada a cabo.

En el capítulo 3 se realiza una caracterización regional del medio físico y de las condiciones climáticas, mientras que el capítulo 4 constituye una caracterización local del cordón costero. A partir de ello se establecen los criterios necesarios para la elaboración del cuadro desarrollado en el capítulo 5 acerca del sistema hidrogeológico, el cual representa la base fundamental sobre la cual se desarrollan los capítulos posteriores.

En el capítulo 6 se describen las características principales del movimiento del agua en el subsuelo, haciendo énfasis en los aspectos relacionados con el comportamiento natural del flujo subterráneo y de los niveles hidráulicos, como así también la influencia de las actividades antrópicas.



En el séptimo se realiza una caracterización general de los aspectos hidroquímicos y además se abordan algunos aspectos específicos vinculados con el comportamiento de la relación agua dulce-salada y la caracterización isotópica del sistema subterráneo.

En el capítulo 8, se elabora un modelo conceptual de funcionamiento geohidrológico para el cordón costero en donde se integran los principales resultados obtenidos en este trabajo.

Por último se definen una serie de conclusiones y recomendaciones las cuales surgen de las tareas realizadas en el presente informe.

En lo que respecta al material empleado durante la elaboración de este trabajo, se ha considerado oportuna la creación de un anexo en donde se muestran los resultados químicos, mapas de flujo e isocontenido, y los resultados de los ensayos de bombeo entre otros.

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA





CAPITULO 2 | METODOLOGIA

La base metodológica fundamental que se empleó fue la observación de los procesos a los que está sometido el agua subterránea en la región costera y la influencia que tiene la acción antrópica sobre la recarga natural y las reservas de agua dulce. Se trató de comprender adecuadamente el comportamiento del ciclo del agua en sus distintas escalas espaciales y temporales, contemplando en primera instancia un análisis en un marco regional, y luego, en sucesivas aproximaciones, los de mayor detalle.

A continuación se enumeran las principales actividades desarrolladas y las particularidades que caracterizan cada una de ellas.

2.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

En relación a la geología, geomorfología e hidrogeología regional, se han consultado numerosas y variadas fuentes de información, incluyéndose autores antiguos como así también contemporáneos.

En cuanto a la bibliografía internacional, se ha recopilado y analizado una considerable cantidad de antecedentes bibliográficos internacionales referente a acuíferos costeros, procesos hidrodinámicos e hidroquímicos vinculados a estos tales como salinización, sobreexplotación, comportamiento de niveles hidráulicos, efectos de la forestación en los balances hídricos y toda aquella información vinculada al tema específicamente.

A partir de la información antecedente, surgida de diversas fuentes, se creó una base de datos bibliográfica la cual permitió contar con un conocimiento adecuado acerca de la temática a desarrollar y también reconocer el grado de conocimiento que se tenía del agua subterránea en la región a estudiar.

2.2 RECURSOS CARTOGRÁFICOS

2.2.1 CARTAS TOPOGRÁFICAS

La información cartográfica antecedente utilizada surgió de las cartas topográficas 3757-22-1 "Pinamar" y 3757-22-3 "Villa Gesell" a escala 1:50.000, ambas relevadas durante 1956 por el IGN (Instituto Geográfico Nacional).

2.2.2 IMÁGENES SATELITALES

La base para la integración de un sistema de información geográfica de la región fue una imagen satelital adquirida a partir del servidor GLFC - ESDI (Global Land Cover Facility - Earth Science Data Interface) Landsat 7 TM, Bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7, Path y Row 223/086, con una resolución espacial de 30 m, tomada



el 27 de febrero de 2005. Fue necesaria la reproyección del sistema UTM (Universal Transversa Mercator) a Gauss Kruger en faja VI (Datum Campo Inchauspe).

Se utilizó la combinación de las bandas 3-2-1 a los efectos de generar una imagen "Color Real RGB" y de este modo poder diferenciar los principales rasgos geológicos y geomorfológicos. Con el objeto de lograr un mejor realce de los cuerpos de agua y de las geoformas se crearon imágenes "falso color" mediante la combinación de las bandas del espectro visible con las del infrarrojo, resultando de particular interés las composiciones 4-3-2, 4-5-3 y 7-4-2.

Adicionalmente se utilizaron imágenes de adquisición gratuita obtenidas a partir del programa Google Earth de las fechas 19/12/2004, 14/04/2006, 07/11/2009, 02/08/2010 04/4/2011, 09/20/2012 y 02/12/2013. La georeferenciación de estas se realizó mediante la ubicación de 25 puntos de control sobre cada imagen. El análisis de las secuencias temporales permitió analizar particularidades como el comportamiento de las dunas en el sector norte del partido, el crecimiento de la forestación y particularidades de la zona de mareas. Asimismo se pudieron apreciar algunos de los efectos vinculados con el desarrollo de la actividad antrópica como ser la densificación del ejido urbano, el avance de la urbanización en el norte y sur del partido, las modificaciones de la línea de costa y los cambios en la morfología natural del cordón vinculados con la construcción de obras civiles (e.g., calles de pavimento, lagunas de oxidación vinculadas a la planta de tratamiento de efluentes cloacales) y de uso recreativo como los clubes de golf, canchas de polo, emprendimientos urbanísticos, cuerpos de agua artificiales, etc.

2.2.3 MAPAS DE SUELO

La información utilizada para la caracterización edafológica surgió de las cartas 3757-22-1 "Pinamar" y 3757-22-3 "Villa Gesell" y sus respectivas descripciones a escala 1:50.000, ambas relevadas por la SAGyP (Secretaría de Agricultura y Pesca) y el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).

Con el objeto de confeccionar mapas de coberturas del suelo se realizaron clasificaciones supervisadas y no supervisadas sobre las combinaciones 4-3-2, 4-5-3 del satélite Landsat 7 TM. El criterio utilizado para la elección de dichas combinaciones se basa en la propiedad que le confiere el campo infrarrojo a la imagen otorgándole mayores contrastes en las coberturas con vegetación o en los cuerpos de agua.

La clasificación no supervisada se llevó a cabo mediante el empleo de la herramienta "Isocluster" del módulo "Spatial Analyst Tools">"Multivariate". En el caso de la clasificación supervisada se emplearon las herramientas "Create Signatures" y "Máximum Likelihood Classification" para la asignación de los atributos y creación de la imagen raster en cada caso.



2.2.4 MAPA BASE

Para la confección del mapa base se consultaron diversas fuentes, realizándose entrevistas con personal de la Dirección de Planeamiento de la Municipalidad de Pinamar, de la Dirección de Turismo y Cultura, con la Cooperativa de Agua y Luz de Pinamar y con el departamento de Catastro de la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires (ADA).

Se contó con mapas, planos y archivos en los formatos SHP (ESRI Shapefile) y DWG (Autocad), a partir de los cuales se digitalizaron diferentes niveles de información y para cada caso se realizó la unificación de los sistemas de proyección de los distintos formatos de archivos. Cuando los datos eran parciales se efectuaron una serie de actualizaciones, las cuales se ejecutaron a lo largo de esta tesis. Los niveles de información utilizados en la integración del SIG son:

- ❖ Límites de partido
- ❖ Localidades
- ❖ Distribución de la red de tensión
- ❖ Ejido urbano (Rutas y calles)
- ❖ Manzanas y parcelas existentes
- ❖ Sistema de saneamiento (Zona servida, cloacas, sistema de impulsión, llaves exclusas)
- ❖ Planta de tratamiento de efluentes líquidos cloacales
- ❖ Sistema de abastecimiento de agua potable (Perforaciones, sistema de conducción)
- ❖ Red monitora del acuífero subterráneo
- ❖ Perforaciones de reconocimiento geológico antecedentes y propias
- ❖ Imágenes satelitales (Landsat 7 TM y Google)
- ❖ Cartas topográficas
- ❖ Carta de suelos - Coberturas

Finalmente se integró toda la información y se confeccionó un mapa base sobre el cual se proyectaron los datos generados durante este estudio.

2.2.5 INTEGRACIÓN A UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Para la integración a un Sistema de Información Geográfica (GIS), se utilizó el software Arcmap 9.3 (ESRI). Se seleccionó un sistema de proyección plana (Gauss – Kruger, faja VI, datum Campo Inchauspe) que incluyó como mapa base, la imagen satelital del área, la trama del ejido urbano, la ubicación de los pozos monitores y las principales geoformas presentes. Se utilizó el método de superposición de capas a los efectos de establecer relaciones de forma integrada entre los diferentes niveles de información.



Para la representación y análisis de la información se trabajó en los formatos vectoriales y raster. El primero se utilizó durante la digitalización de puntos (red de monitoreo y pozos de explotación), líneas (trama urbana, red de saneamiento) y polígonos (geoformas). La información referente tanto al sistema saneamiento (e.g. cloacas, bombas de impulsión de efluentes cloacales, etc) como del sistema de explotación para el abastecimiento de agua (pozos de explotación y sistemas de distribución) fue digitalizada a partir de la información proveniente de la Secretaría de Planeamiento del Municipio y de la Cooperativa de Agua y Luz de Pinamar (CALP). La edición de los puntos, líneas y polígonos se realizó manualmente utilizando diversas escalas de trabajo de acuerdo con el nivel de detalle requerido en cada caso (1:10.000; 1:25.000; 1:50.000 y 1:100.000) y mediante el uso de las herramientas que el editor del software ArcMap 9.3 ofrece ("Sketch Tool", "End Point", "Arc Tool", etc.).

En este mismo sentido se crearon y editaron tablas con sus correspondientes campos que incluyeron las filas (Números de pozo de explotación, número de pozo monitor, número de muestra, etc) y sus atributos (e.g., nombre de calle, área, profundidad de la perforación, año de construcción, etc).

El formato raster se empleó en las combinaciones de bandas Landsat 7 TM así como también en la generación de mapas de isocontenidos de compuestos químicos. Por otra parte se realizaron selecciones por atributos (Función "Select by Attributes") con el objeto de filtrar, analizar y relacionar las filas y columnas de los diferentes niveles de información.

La interpolación de los datos en los casos que resultó conveniente usar esta técnica se llevó a cabo empleando el método del "vecino natural" (Natural Neighbour). Se realizaron numerosas intentos con el objeto de evaluar el mejor método de interpolación entre los que el software ArcMap 9.3 ofrece (e.g., "Natural Neighbour", "Spline", "Krigging", e "Inverse Distance Weight"). A partir de dichas pruebas y con el objeto de plasmar en dichas representaciones un criterio geohidrológico, surgió la necesidad de redigitalizar manualmente los mapas de isolíneas, lo cuales fueron convertidos en formato digital mediante un software gráfico (COREL X6).

2.3 DATOS Y ELABORACIÓN HIDROMETEROLÓGICA

2.3.1 DATOS HISTÓRICOS

La búsqueda y recopilación de información climatológica antecedente estuvo en función de 3 factores principales. En primer lugar la representatividad, es decir la cercanía y relación geohidrológica con el área de estudio, la extensión de la serie de datos, y por último la calidad de los datos priorizando aquellas fuentes que resultaran más confiables (WMO, 2006).

La caracterización climática regional se realizó en base a los datos meteorológicos publicados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y corresponden a series mensuales y anuales. La selección de las



series se llevó a cabo teniendo en cuenta la mayor cantidad de estaciones y el mayor período de tiempo con datos en forma simultánea. Las estaciones seleccionadas (Figura 2.1 y tabla 2.1) corresponden a Mar del Plata Aero, Dolores Aero y Pinamar, con datos coincidentes para los períodos 1951-1960, 1961-1970 y 1971-1980. Cabe destacar que la última estación se encontró operativa hasta 1976 y se incluye en el presente análisis dada su pertenencia al área de estudio.



Figura 2.1 Estaciones meteorológicas empleadas para la caracterización climática regional.

Estación SMN	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Serie utilizada
Mar del Plata Aero	37° 56' S	57° 40' W	21	1951-1980
Pinamar	37° 05' S	56° 51' W	13	1951-1976
Dolores Aero	36° 21' S	57° 40' W	9	1951-1980

Tabla 2.1 Ubicación de las estaciones y series empleadas para la caracterización climática regional.



2.3.2 DATOS ACTUALES

Con el objeto de obtener una serie climática coincidente con el período de monitoreo del agua subterránea se instalaron dos estaciones meteorológicas en las localidades de Pinamar y Cariló (Figura 2.2) a partir de las cuales se obtuvo un registro diario y horario de lluvias, temperatura y humedad. De este modo se pretendía analizar las diferencias existentes entre un ambiente urbanizado (Pinamar centro) y el área forestada ubicada al sur del partido (Cariló), evaluando el comportamiento frente a un mismo evento de precipitación y de qué forma se manifiestan las variaciones de los niveles de agua subterránea en ambos sitios.



Figura 2.2 Estaciones meteorológicas instaladas en las localidades de Pinamar (A) y Cariló (B).

2.3.3 BALANCES HIDROLÓGICOS

Para llevar a cabo el cálculo de los excesos hídricos, se utilizó un balance hidrológico de paso diario. Debido a la escasez y a la falta de continuidad de datos meteorológicos que el Partido de Pinamar presenta, se eligió una estación meteorológica del SMN vecina, ubicada en el aeropuerto de Villa Gesell. Los datos obtenidos corresponden a la serie de precipitación diaria del período 1997-2010. Los datos de ET_0 media diaria normal de acuerdo a FAO-Penman-Monteith (Allen et al., 1998) se derivaron de los 12 valores mensuales medios obtenidos por interpolación de los mapas realizados por Falasca y Forte Lay (2006) para el período 1961-90. Esto se debió a que Pinamar no contaba con los datos completos necesarios para el cálculo directo.

El balance hidrológico se establece entre tres componentes:

- La oferta de agua que es la precipitación
- La demanda atmosférica potencial o demanda máxima de agua para determinada cobertura del suelo (ET_c).
- El reservorio de agua que es el almacenaje de agua en el suelo.



Como el suelo y la vegetación que lo cubre no siempre ceden a la atmósfera toda el agua que les es demandada, se define el concepto de evapotranspiración real (ET_r), que es la que realmente se produce ante una determinada ET_c y para un almacenaje inicial; la cual es siempre menor o igual a la ET_c .

La ecuación (1) que relaciona los elementos del balance es la siguiente

$$P - T - \Delta Alm - Exc = 0 \quad (1)$$

Donde, P es la precipitación del período, ET_r es la evapotranspiración real, ΔAlm es la variación del almacenaje de agua en el suelo y Exc es el exceso de agua en el suelo. ΔAlm puede tener un valor positivo (cuando asciende), negativo (cuando desciende) respecto a un valor anterior o inicial, o cero cuando no varía. El resto de los elementos oscilan entre cero y un valor positivo.

El valor máximo definido para el almacenaje de agua en el suelo es la capacidad de almacenaje o capacidad de campo (CC) que es la de un suelo que ha sido llevado hasta la saturación y al que luego se le ha permitido drenar toda el agua gravitacional. Su valor depende de la textura o granulometría del suelo (a menor tamaño de partículas, mayor espacio de poros y mayor CC), y de la profundidad del mismo que se considera hasta donde llega el crecimiento del sistema radical de la vegetación que cubre el suelo (a mayor profundidad mayor CC).

Cuando el valor de P supera al de la ET_c , el Alm va aumentando hasta alcanzar la CC; toda adición posterior de agua se considera Exc que a su vez se puede dividir en drenaje profundo (hacia el subsuelo) y en escurrimiento superficial (de zonas más altas a zonas más bajas), aunque este último también puede ocurrir antes de llegar a CC, y depende de la intensidad de la PP de la tasa de infiltración del suelo y del contenido de humedad del mismo.

La relación entre la ET_r y la ET_c depende a su vez del contenido de agua en el suelo. Thornthwaite and Mather (1955) proponen una relación de acuerdo a las tablas de retención específicas para cada CC que para períodos cortos de tiempo (1 día) es lineal, respondiendo a un esquema sencillo donde el valor de la ET_r iguala al de la ET_c solamente en CC y se reduce a la mitad cuando el suelo contiene la mitad de su capacidad de almacenaje, anulándose cuando se agota la humedad del suelo. Este es el esquema adoptado en este estudio. Se utilizó un balance de paso diario, ya que en trabajos anteriores fue demostrado que los balances diarios son los que estiman mejor la verdadera humedad del suelo y el resto de los términos de la ecuación anterior.

Por otro lado el valor de la evapotranspiración máxima de la cobertura ET_c de acuerdo a las últimas definiciones proviene de la evapotranspiración de referencia ET_0 definida de acuerdo a FAO como la de “un cultivo de referencia hipotético con una altura de 0,12 m, una resistencia superficial fija de 70 s.m⁻¹ y un albedo de 0,23.” La misma se puede estimar de acuerdo a la misma institución mediante la denominada



ecuación de FAO Penman-Monteith, a partir de valores medidos de temperatura, humedad, viento y radiación solar. Una vez obtenida se puede determinar ET_c de acuerdo a la siguiente relación:

$$ET_r = ET_0 * K \quad (2)$$

De un gráfico de FAO (Allen et al., 1998) mostrando la relación entre ET_0 y K_c (Coeficiente de cultivo) para distintos intervalos de mojado se pudieron deducir los valores de K_c mensual a lo largo del año, eligiendo como intervalo de mojado el de 4 días que se aproxima a una frecuencia de 7-8 lluvias por mes, valor razonable para la región. Los valores de K_c aplicados para suelo medanoso desnudo se han representado en la Figura 2.3.

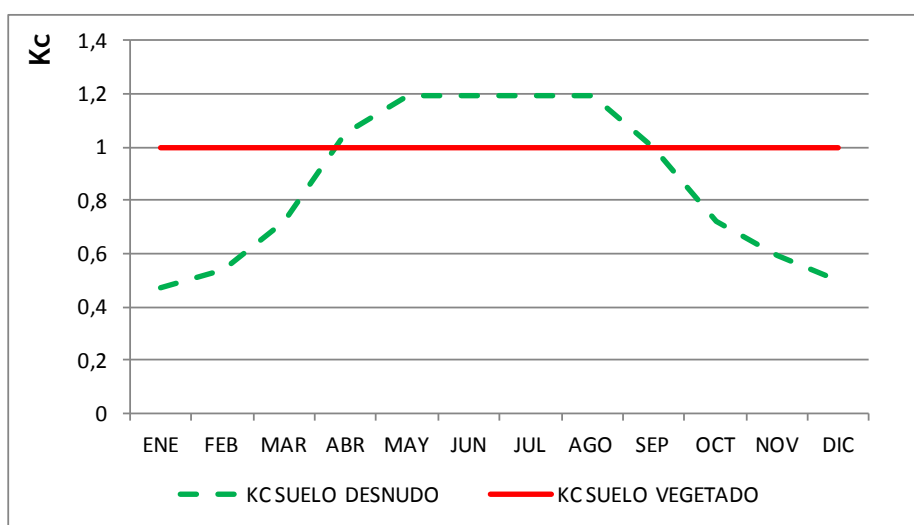


Figura 2.3 Valores de K_c utilizados para la determinación de ET_c .

Para el caso de un suelo cubierto por un bosque de coníferas, de acuerdo a la misma fuente el valor de K_c adoptado fue de 1 a lo largo de todo el año por lo que en este caso ET_c se hizo igual a ET_0 .

2.4 RELEVAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

Con el objeto de obtener en forma general un mapa topográfico del partido de Pinamar y en particular el acotamiento de los pozos ejecutados, que componen la red monitora de agua subterránea, se realizaron tareas de gabinete y de campo. En el primer caso se efectuó una búsqueda y recopilación de antecedentes que incluyeron las citadas cartas topográficas relevadas por el IGN, puntos fijos y trigonométricos relevados por empresas privadas (HYTSA, 1999). Se contó con los datos aportados por el departamento de mensura del Municipio Urbano de Pinamar quien además realizó un breve informe monográfico de 23 ménsulas que se encuentran materializadas dentro del ejido urbano del partido y sobre la RP N°11 a partir de las cuales se realizó la vinculación altimétrica.

Con toda la información anteriormente citada se realizó una compilación y jerarquización de los datos, priorizando aquellas fuentes que resultaran confiables. Los datos seleccionados fueron proyectados en un



plano y se confeccionaron mapas a distintas escalas los cuales sirvieron a modo de red de apoyo para las tareas de campo.

Las tareas de campo comprendieron 3 campañas realizadas durante abril de 2013 y entre Septiembre y Octubre de 2014. La primera de ellas tuvo una duración de 8 días y consistió en la búsqueda de puntos materializados en el terreno y la nivelación de las cotas de boca de pozo, terreno natural y puntos de paso mediante el método geométrico (Figura 2.4).

Este método consiste en la obtención de desniveles entre dos puntos utilizando visuales horizontales denominadas técnicamente como "visual adelante – visual atrás". La técnica permite obtener datos confiables en distancias relativamente cortas (100 a 200 metros). La tarea permitió contar con el dato altimétrico de 110 puntos, los cuales permitieron vincular de forma integral los niveles de agua subterránea medidos en los pozos de la red monitora.

Posteriormente y con el fin de obtener información de los sectores no relevados del sector de playa y de la cadena de médanos ubicados al norte del partido, se realizaron dos campañas de relevamiento topográfico mediante el empleo de un GPS Diferencial modelo South Vector 86/88 (Figura 2.5) el cual permite obtener además de las coordenadas planas de un punto, su valor altimétrico mediante la vinculación de los módulos Base y Rover y su triangulación con la red de satélites. Los puntos acotados con anterioridad sirvieron como una red de apoyo para validar los datos obtenidos.

La medición de los puntos se llevó a cabo utilizando la técnica de "Stop and Go", con series de 10 mediciones tomadas durante un intervalo de 10 minutos por punto, en tanto que el ángulo de apertura empleado para el descarte de señales de recepción fue de 15°. Además se verificó que el valor PDOP (Position Dilution of Precision) fuera cercano al valor 1 descartando aquellos datos en lo que el mismo fuera mayor a 2. La versatilidad del equipo permitió, además, relevar el sector de dunas ubicado al norte del partido entre las localidades de Pinamar y Montecarlo mediante la realización de 2 campañas de acotamiento topográfico (Figura 2.6).



Figura 2.4 Vinculación altimétrica de puntos mediante el método geométrico. (Fecha 16/04/2013).



Figura 2.5 Relevamiento de datos mediante el empleo de GPS Diferencial. Configuración del equipo (A), módulos Base (B) y Rover (C). (Fecha 16/10/2014)



Posteriormente en gabinete y mediante el empleo Software GQuickPosition V 2.0 se procesaron los datos almacenados en los módulos Base y Rover descartando aquellos valores en los que el desvío standart del error fuera mayor a 0,02 metros. De esta manera se obtuvieron 182 valores de altitud los cuales permitieron vincular los valores relevados con el resto de los puntos tomados en las campañas de nivelación anteriores.

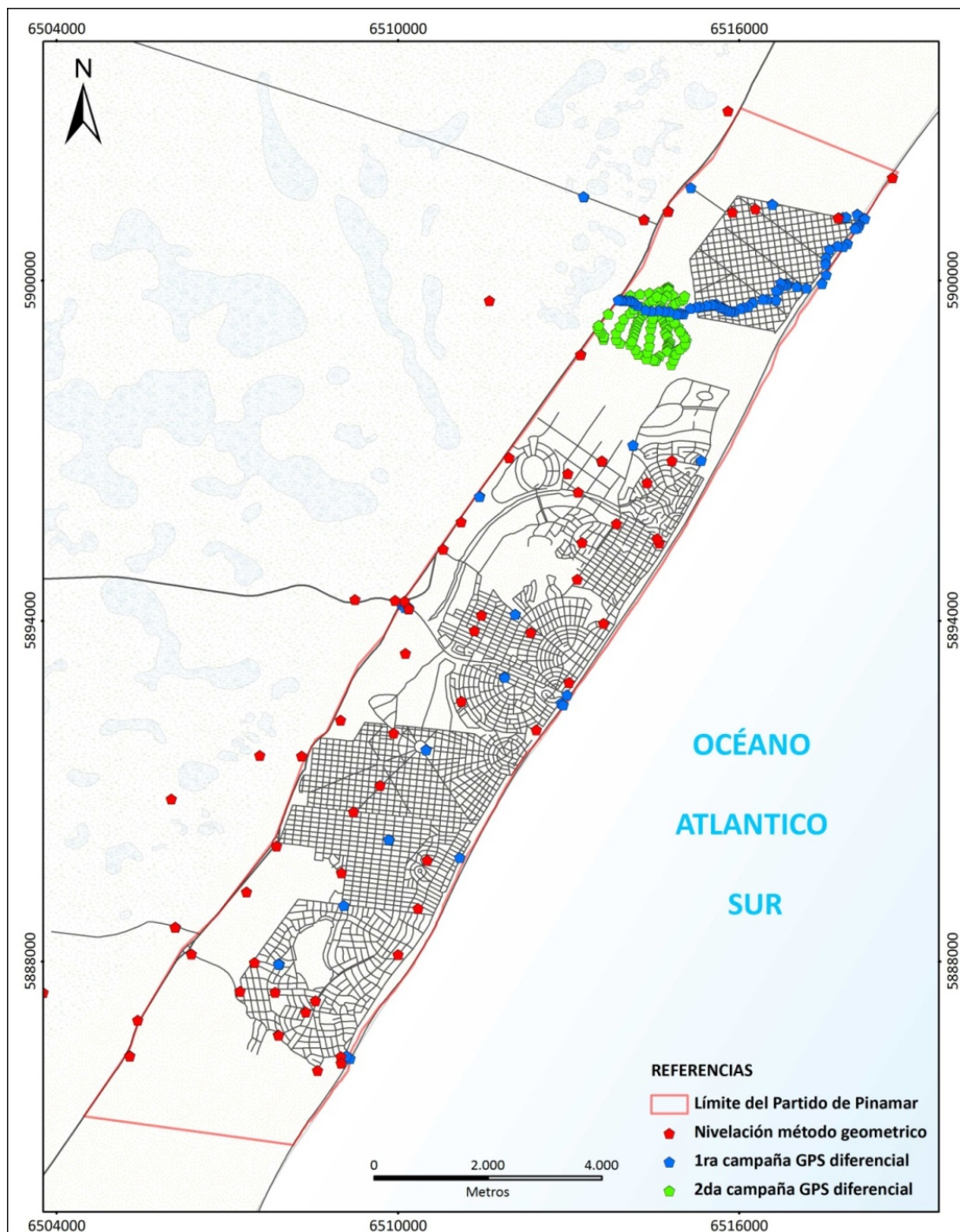


Figura 2.6 Puntos acotados durante las campañas de relevamiento topográfico.



Por último, y utilizando la información antecedente en forma conjunta con los datos relevados se realizaron mapas topográficos a diferentes escalas. Se confeccionó un mapa regional que abarcó a todo el partido de Pinamar. Además, debido a su importancia desde el punto de vista hidrogeológico, se confeccionaron mapas topográficos de detalle de la zona de médanos desnudos ubicada al norte del partido. La equidistancia empleada fue de 2,5 m en ambos casos. Finalmente, y con la ayuda del software gráfico ya citado, se digitalizaron las curvas topográficas en forma manual buscando la integración un criterio geomorfológico.

El mapa topográfico confeccionado resulta un avance de importancia dado que los mapas disponibles del IGN y de otros organismos carecían de un detalle que reflejara las características morfológicas particulares del cordón costero.

2.5 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

2.5.1 EJECUCIÓN DE PERFORACIONES

Se realizaron perforaciones con profundidades que oscilaron entre los 10 y los 40 m. Los sistemas de perforación utilizados fueron manuales y rotativos con inyección de lodo.

En el primer caso se emplearon maniobras de “hincado”, “cuchareo” y “punzamiento” con lanza de los niveles arcillosos. El muestreo se realizó en boca de pozo obteniendo muestras de sedimento las cuales fueron dispuestas en cajas de PVC (Figura 2.7 E).

Para las perforaciones ejecutadas por rotación (Figura 2.8) se empleó un equipo diesel, una bomba de inyección de lodo, barras metálicas de 2 metros de longitud, una torre portadora de barras, mechas de widia de diferentes diámetros y una pipa con batea para la decantación del cutting. El muestreo de cutting de perforación se realizó mediante la utilización de tamices en boca de pozo, efectuando en primer lugar una descripción mesoscópica de campo, mientras que en el laboratorio las muestras fueron sometidas al análisis mineralógico y granulométrico con el uso de lupa binocular.

Se logró contar con la descripción detallada de 47 perforaciones totalizando 1260 metros lineales de perforación y 252 kg de muestras de cutting. La determinación de la fracción carbonática se realizó mediante la reacción de efervescencia con ácido clorhídrico. La descripción cualitativa y porcentual de los componentes minerales de los sedimentos se efectuó a partir de una selección estadística que resultara lo más representativa posible.



Figura 2.7 Perforaciones manuales. Operaciones de cuchareo (A), punzamiento (B), muestreo (C y D) y hincado de la cañería (C).



Figura 2.8 Perforaciones rotativas con inyección de lodo. Mesa rotary (A), muestreo de cutting (B y E), equipo de perforación (C) y tamices (D).

Con el objeto de mejorar la resolución del perfil litológico se midieron radioactividades naturales (Gamma Natural). Esta técnica permite registrar datos que están directamente asociados las emisiones naturales del propio terreno (Peterson, 2000). En este registro no es necesario que el pozo esté lleno de agua o lodo, tampoco es inconveniente la presencia de entubados, razón por la cual es de uso más general que otros métodos eléctricos u otros registros radiactivos, siendo en algunas ocasiones la única alternativa posible. Algunas rocas son radioactivas por naturaleza. Los elementos inestables presentes en las formaciones son: las series Uranio-Radio y Thorio-Radio-Potasio. Estos elementos son los que contribuyen en más alto porcentaje a las radiaciones naturales que se observan en las rocas sedimentarias.



La integración de estas curvas es cualitativa, con una buena definición en los distintos niveles litológicos sedimentarios por la presencia en las arcillas de los elementos ^{14}C y ^{40}K , que aumentan considerablemente su actividad, pudiendo en condiciones favorables determinar cuantitativamente el contenido de finos. Es definida como un registro litológico dado su capacidad de discriminar materiales en función de su actividad de emisión gamma natural.

El acotamiento de las perforaciones se realizó mediante la utilización de nivel óptico cuya tarea fue descripta en la ejecución de mapas topográficos de detalle, los cuales facilitaron la vinculación altimétrica de todos los pozos.

2.5.2 RELEVAMIENTOS GEOELÉCTRICOS

Con el objeto de contar con información complementaria de las características geológicas e hidrogeológicas del subsuelo se realizaron 9 sondeos eléctricos verticales y 14 tomografías eléctricas.

Se debe tener en cuenta que la resistividad es una propiedad física que refleja la dificultad del medio para establecer un flujo de corriente eléctrica. Se denomina ρ y tiene unidades de Ohm metro [Ωm]. La resistividad en las rocas presenta un rango de variación muy amplio, incluso para un mismo material, y está controlada entre otros factores por el contenido electrolito del agua de saturación (Orellana, 1982; Sharma, 1997).

El método consiste en inyectar una corriente de bajo amperaje y estudiar la dificultad con que fluye en el subsuelo. Finalmente se pueden inferir las características del material (arcilla, arena, agua dulce o salada) a partir de la respuesta observada.

Estas técnicas tienen por objetivo conocer la distribución de resistividades “verdaderas” del subsuelo, a partir de estas determinaciones “aparentes”. Por esta razón es necesario invertir los datos para obtener un modelo de resistividades “verdaderas” cuya respuesta se asemeje a las observaciones.

Sondeos eléctricos verticales (SEV's)

Tal como se mencionó, con la finalidad de caracterizar eléctricamente el subsuelo se realizaron 9 sondeos eléctricos verticales (SEV's). La distribución y ubicación (Tabla 2.2 y Figura 2.11) estuvo en función de la cercanía con perforaciones cuyo perfil litológico fuera conocido buscando generar de esta manera una “parametrización” de los valores de resistividad obtenidos. En otros casos esta técnica fue empleada para establecer extrapolaciones de las imágenes de resistividad eléctrica.

Los SEV's permiten conocer la distribución vertical de resistividades, a través de mediciones en superficie, y su posterior inversión. Los modelos propuestos suponen un comportamiento lateralmente homogéneo para cada una de las electrocapas (Perdomo et. al 2011).



El trabajo de campo (Figura 2.10) consiste en obtener una “*Curva de Resistividad Aparente*” a partir de hacer circular una corriente I por el circuito de emisión y medir la diferencia de potencial V que se genera entre los electrodos de recepción (MN) (Figura 2.9).

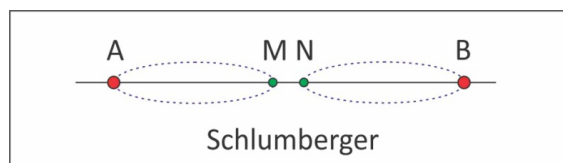


Figura 2.9 Diagrama del dispositivo de medición utilizado. En los puntos A y B se inyecta corriente continua y se mide la caída de tensión producida entre las posiciones M y N.

En base a esto se obtiene cada valor de resistividad aparente (en Ohm m), según la expresión:

$$\rho_{ap} = K \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

donde K es la constante geométrica del dispositivo que tiene en cuenta la disposición del tetrapolo en el terreno. Cada valor calculado de la resistividad aparente se asigna a la distancia $AB/2$ en metros y se gráfica en escala bilogarítmica.

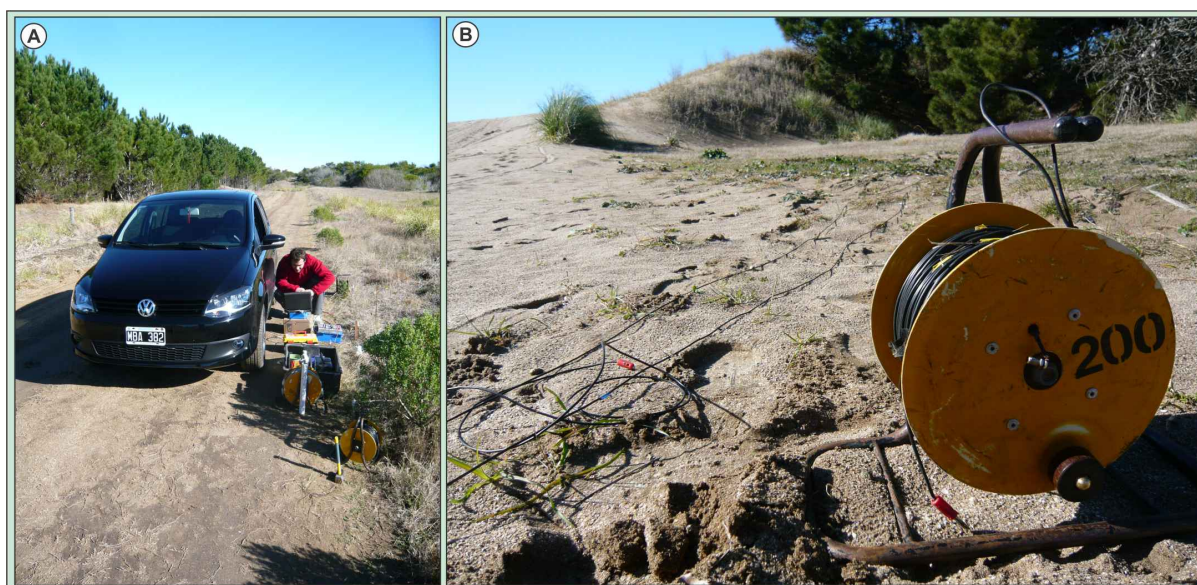


Figura 2.10 Sondeos eléctricos verticales en la localidad de Montecarlo. Medición y almacenamiento de datos de resistividad (A) y carreteles utilizados (B).

El dato de campo (curva de resistividades aparentes) debe ser invertido para obtener una distribución de resistividades en profundidad que satisfaga matemáticamente la curva de respuesta observada dentro de una banda dada por el error experimental. Para obtener esa distribución de resistividades en profundidad (objetivo del método) se utilizan técnicas matemáticas.



LOCALIDAD	SEV	Dirección	Coordenadas G-K	
			X	Y
Carilo	S-1	Espinillo y Reynamora	6.507.881	5.887.985
Valeria del Mar	S-2	Yañez Pinzón y Betbeder	6.509.767	5.890.155
Ostende	S-3	Plaza Central	6.510.532	5.891.771
Pinamar (Centro)	S-4	Marco Polo y Tuyu	6.511.877	5.893.030
Pinamar (Centro)	S-5	Sarmiento y Nautilus	6.513.662	5.894.463
Pinamar (Norte)	S-6	Fgta. Victoria y Penelope Sur	6.514.790	5.896.947
Pinamar (Norte)	S-7	Selene y Olimpo	6.514.134	5.897.069
Montecarlo	S-8	Atlántico y Saenz Peña	6.516.377	5.901.389
Montecarlo	S-9	Atlantico y Amazonas	6.517.729	5.901.126

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas de los sondeos eléctricos verticales realizados.

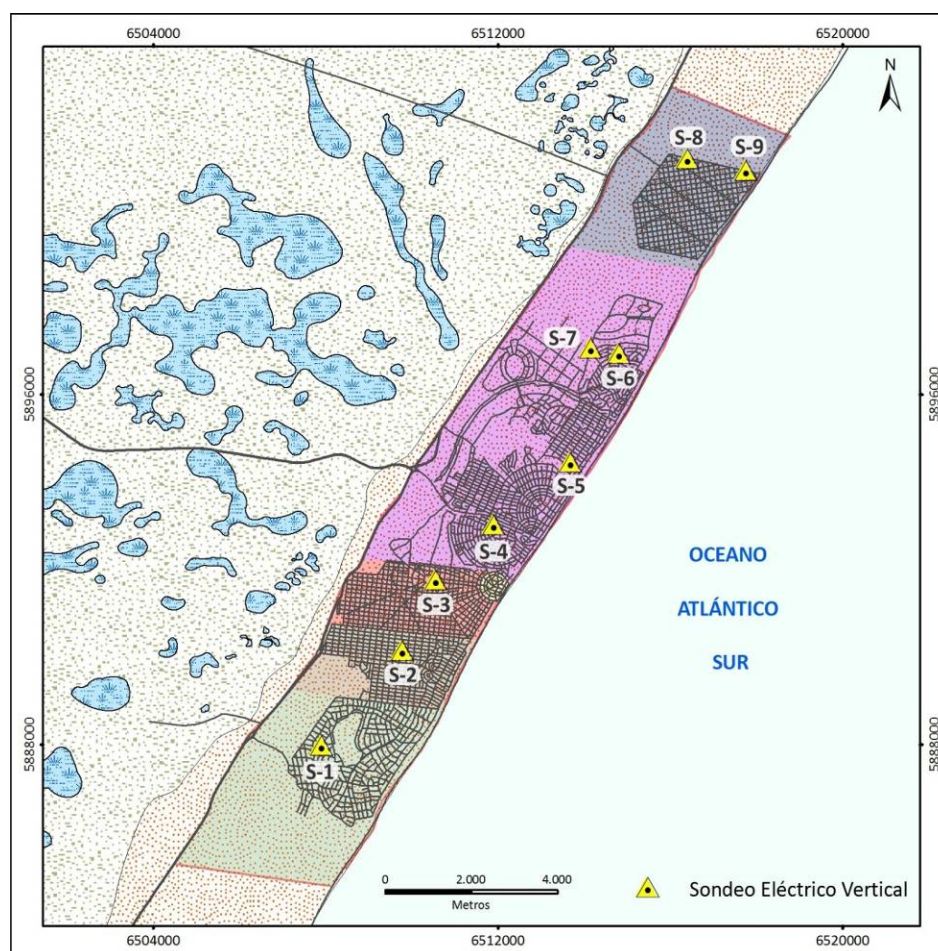


Figura 2.11 Ubicación de los sondeos eléctricos verticales realizados.

Imágenes de resistividad eléctrica (IRE's)

Con el objeto de contemplar posibles variaciones laterales de la resistividad se realizaron 14 tomografías eléctricas en todo el partido. Las tareas consistieron en la colocación y conexión de los electrodos de emisión y recepción a la línea eléctrica, la determinación del rumbo de las líneas eléctricas mediante la toma de puntos GPS y la medición y almacenamiento de resistividades aparentes.



Así mismo se tuvieron en cuenta los perfiles litológicos de las perforaciones ejecutadas y se analizaron parámetros como la conductividad eléctrica (CE) del agua y el nivel freático (NF) de los pozos de monitoreo a los efectos de mejorar la interpretación de los modelos propuestos.

Adicionalmente se realizaron tomografías antes, durante y después de los ensayos de bombeo realizados con el objeto de evaluar la respuesta eléctrica del subsuelo frente al estímulo generado. (Dip et al., 2014)

Esta técnica combina mediciones en profundidad y en dirección horizontal, permitiendo obtener modelos de resistividades en forma de perfil los cuales son denominados Imágenes de Resistividad Eléctrica (IRE's).

Al igual que los SEV' las observaciones de la resistividad en la superficie de la tierra se realizan a través de electrodos de energización, con los cuales se establece un campo eléctrico y se mide el campo potencial (ΔV) producido entre dos puntos.

En corriente continua se utiliza la siguiente expresión para calcular la resistividad de un medio:

$$\rho_{ap} = G \frac{\Delta V}{I} \quad (4)$$

Siendo I la intensidad de la corriente de energización y G un factor geométrico que tiene en cuenta la disposición relativa de los electrodos. Cuando se efectúan mediciones sobre la superficie, la resistividad estimada mediante la ecuación (4) resulta una magnitud aparente, debido a las posibles heterogeneidades del medio.

El esquema de trabajo (Figura 2.12) consiste en inducir una corriente continua I por el circuito de emisión (C_1 y C_2) y medir la diferencia de potencial V generada entre los electrodos de recepción (P_1 y P_2), haciendo variar la separación y posición de los electrodos. Para el procesamiento e inversión de los datos se utilizó el software Res2DInv de Geotomo. El resultado del procesamiento e inversión de los datos son modelos en forma de perfil o Imágenes de Resistividad Eléctrica (IRE's).

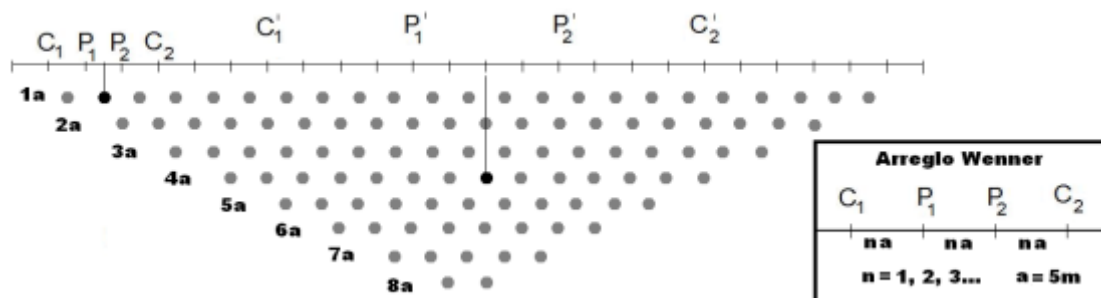


Figura 2.12 Ubicación de los datos y arreglo utilizado. Se ve como ejemplo dos disposiciones electrónicas para la obtención de datos.



El modelo propuesto se obtiene de manera iterativa, y por medio de algoritmos matemáticos se calcula su respuesta eléctrica que es comparada con los datos medidos. La diferencia entre la sección calculada y las mediciones viene dada por un error medio cuadrático, que indica la bondad del ajuste. (Loke, 2004)

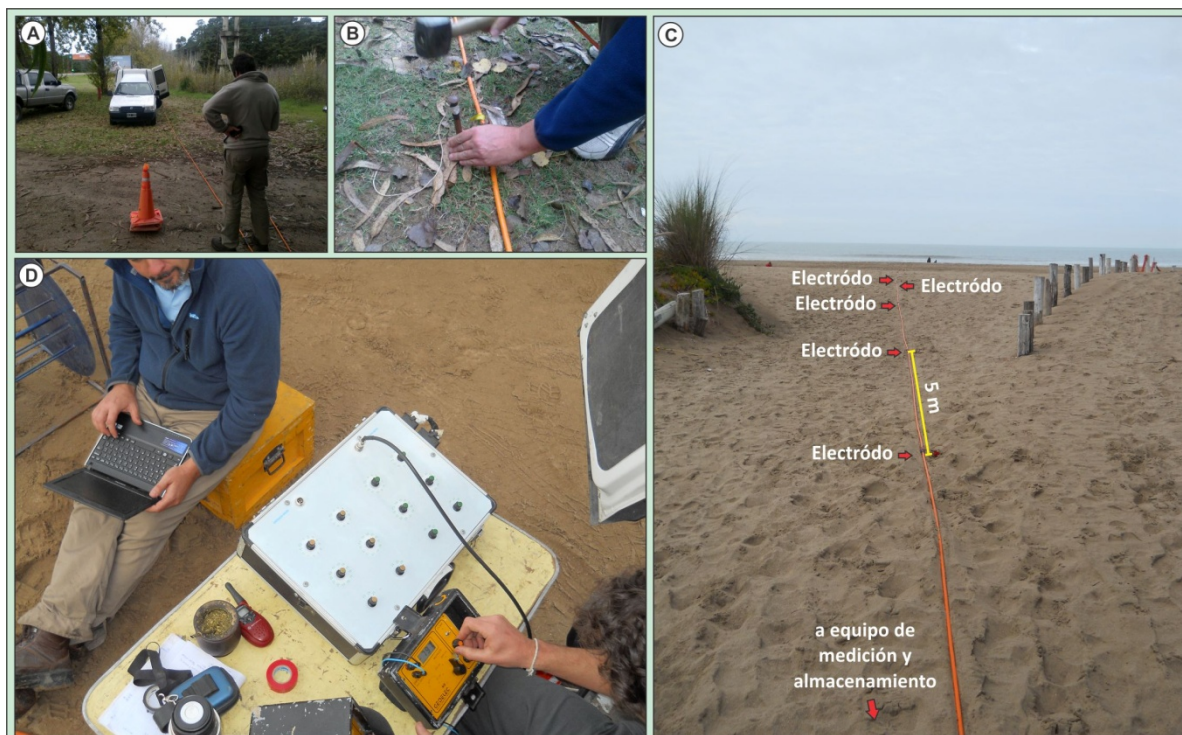


Figura 2.13 Operaciones de medición de las IRE's. Obtención del rumbo de la IRE (A), colocación de los electrodos (B), línea eléctrica de medición en el sector de playa de Cariló (C) y operación de adquisición y almacenamiento de datos (D). (Fechas de las fotografías 05/2012 - 06-2013 - 08/2014)

Para la adquisición de las IRE's se utilizó un arreglo cuadripolar Wenner de 5 m de separación eléctrica mínima y 40 m de separación máxima, permitiendo explorar hasta 20 m de profundidad. La sensibilidad de este arreglo a las variaciones verticales de resistividad (Loke, 2004) lo hace apropiado para diferenciar el comportamiento eléctrico de una estratificación subhorizontal, como lo es el límite arena-arcilla en la zona de estudio.

Las tomografías eléctricas fueron realizadas en las localidades de Montecarlo, Pinamar, Ostende, Valeria del Mar y Cariló (Tabla 2.3 y Figura 2.14). La ubicación estuvo en función de la cercanía con perforaciones realizadas tanto para el monitoreo, como para los ensayos de bombeo y de las cuales se conoce con detalle el perfil litológico. La ubicación de las tomografías T1, T2, y T3 en la localidad de Pinamar, como así también las líneas T4 y T5 en la localidad de Cariló permitieron evaluar las diferencias existentes entre los sectores de oriental, central y costero del cordón costero. Tanto el arreglo como la longitud de las trazas T6, T7, T8, T9 (Ver figuras A5 y A6 en anexo) posibilitó el reconocimiento del sistema en profundidad (>60 m), mientras que a partir de las restantes se estableció un parámetro geofísico que permite correlacionar resistividad medida con la transmisividad hidráulica del acuífero (Perdomo, 2015).



LOCALIDAD	DIRECCIÓN	IRE	Cord. G-K (Inicio)		Cord. G-K (Final)		Orientación
			X	Y	X	Y	
Pinamar	Ruta Prov. Nº 11 y Bunge	T1	6.510.152	5.894.219	6.510.346	5.894.115	NW-SE
Pinamar	Bunge y E. Shaw	T2	6.511.670	5.893.289	6.511.866	5.893.182	NW-SE
Pinamar	Tuyú y Marco Polo	T2B	6.511.661	5.893.120	6.511.910	5.893.013	NW-SE
Pinamar	Bunge y Playa	T3	6.512.798	5.892.614	6.512.941	5.892.489	NW-SE
Carilo	Ruta Prov. Nº 11 (Km 399,5)	T4	6.505.255	5.886.421	6.505.468	5.886.261	NW-SE
Carilo	Acacia y Costanera	T5	6.508.978	5.886.341	6.509.244	5.886.305	NW-SE
Carilo	Espinillo y Reynamora	T6	6.507.792	5.888.081	6.507.938	5.887.916	NW-SE
Carilo	Zorzal y Pino	T7	6.508.055	5.888.819	6.508.250	5.889.093	SW-NE
Carilo	Carpintero y Divisadero	T8	6.508.557	5.886.870	6.508.508	5.887.087	NW-SE
Carilo	Paraiso y Nogal	T9	6.509.828	5.888.425	6.510.262	5.888.219	NW-SE
Valeria del mar	V. O. Betbeder y Y. Pinzon	T10	6.509.730	5.890.154	6.510.165	5.890.105	W-E
Ostende	Plaza Central	T11	6.510.394	5.891.795	6.510.892	5.891.728	W-E
Pinamar (Norte)	Selene y Olimpo	T12	6.514.152	5.897.101	6.514.328	5.897.487	N-S
Montecarlo	Atlántico y Saenz Peña	T13	6.516.432	5.901.379	6.516.887	5.901.292	NW-SE

Tabla 2.3 Especificaciones de las tomografías eléctricas realizadas.

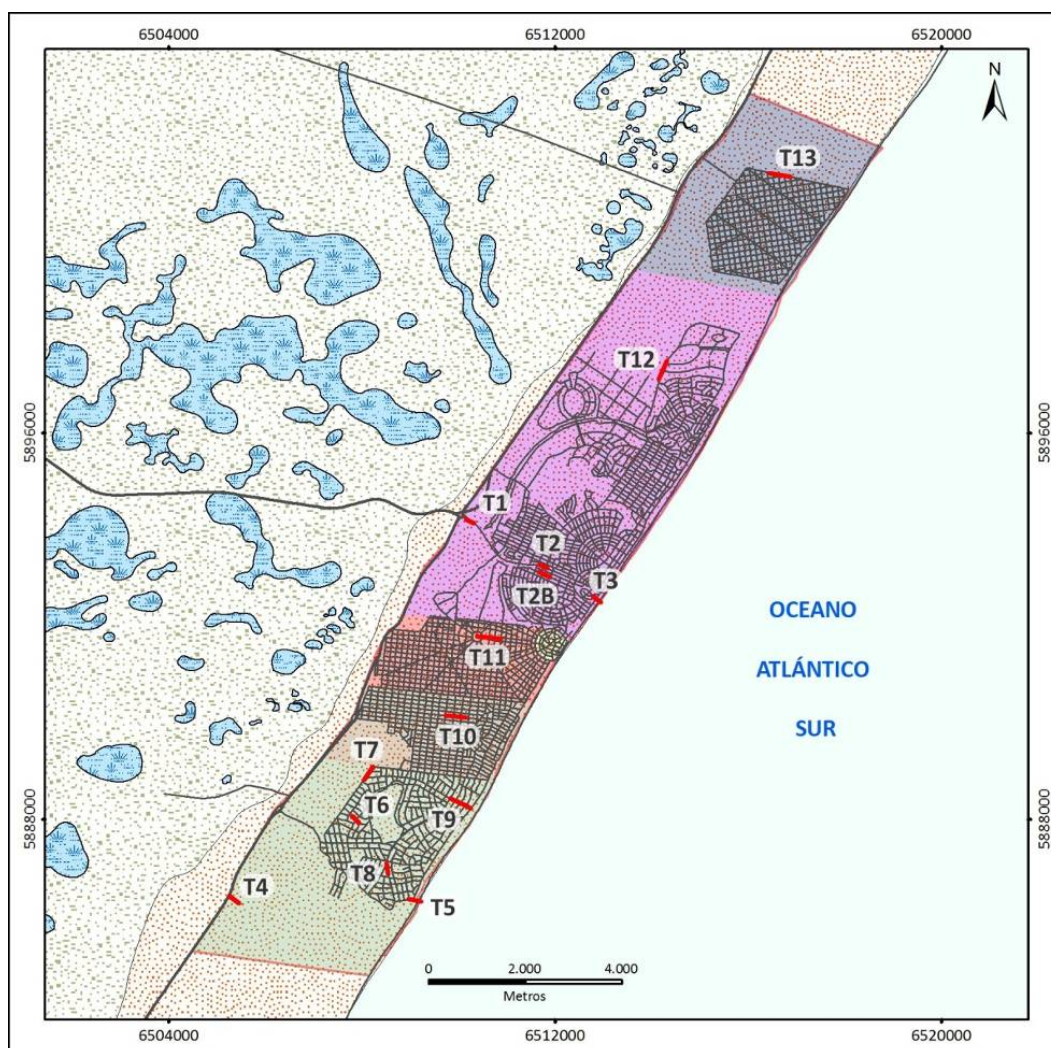


Figura 2.14 Ubicación de las tomografías eléctricas.



2.5.3 PERFILES GEOLÓGICOS

En base a la información obtenida a partir de las perforaciones ejecutadas se construyeron 10 perfiles geológicos integrados que abarcaron a todo el Partido, 3 de ellos ubicados en forma paralela a la línea de costa mientras que los restantes lo hacen en forma perpendicular (Figura 2.15).

Los datos geológicos previos, entre otros Parker y Violante (1989); Parker (1991) Violante et al., (2001) y Cavalloto (2002) e informes inéditos de consultoras fueron complementarios para la interpretación geológica e hidrogeológica.

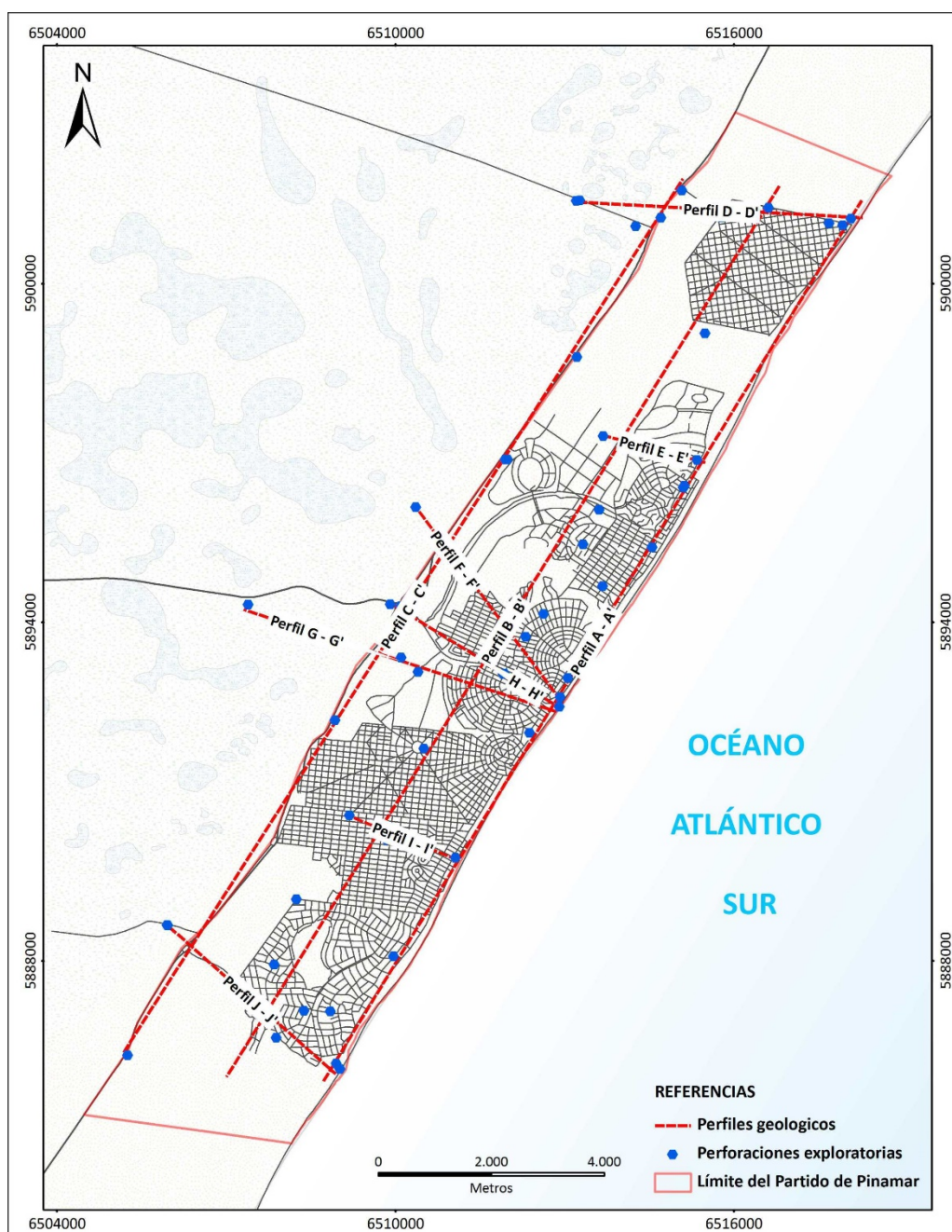


Figura 2.15 Ubicación de los perfiles geológicos realizados.



2.5.4 MODELADO GEOLÓGICO 3D

Con el objeto de obtener un modelo geológico 3D que refleje los relevamientos de campo se utilizó el software Petrel-Schlumberger (v.2014.05) empleando los módulos “Geoscience Core”, “Well Correlation”, “Data Analysis” y “Facies Modeling”. En primer término se cargaron las coordenadas y cotas de las perforaciones a incluir en el área de estudio, las cuales en conjunto con la red de apoyo topográfico relevada constituyen los requerimientos de entrada del programa para la confección del mapa topográfico. Las descripciones litológicas de las perforaciones se introdujeron en forma de perfiles discretos (Figura 2.16) de pozos asignándole un valor (código) para cada una de las litologías (Figura 2.17). Adicionalmente se realizó un control de calidad mediante la confección de cortes estructurales entre los pozos (Figura 2.18).

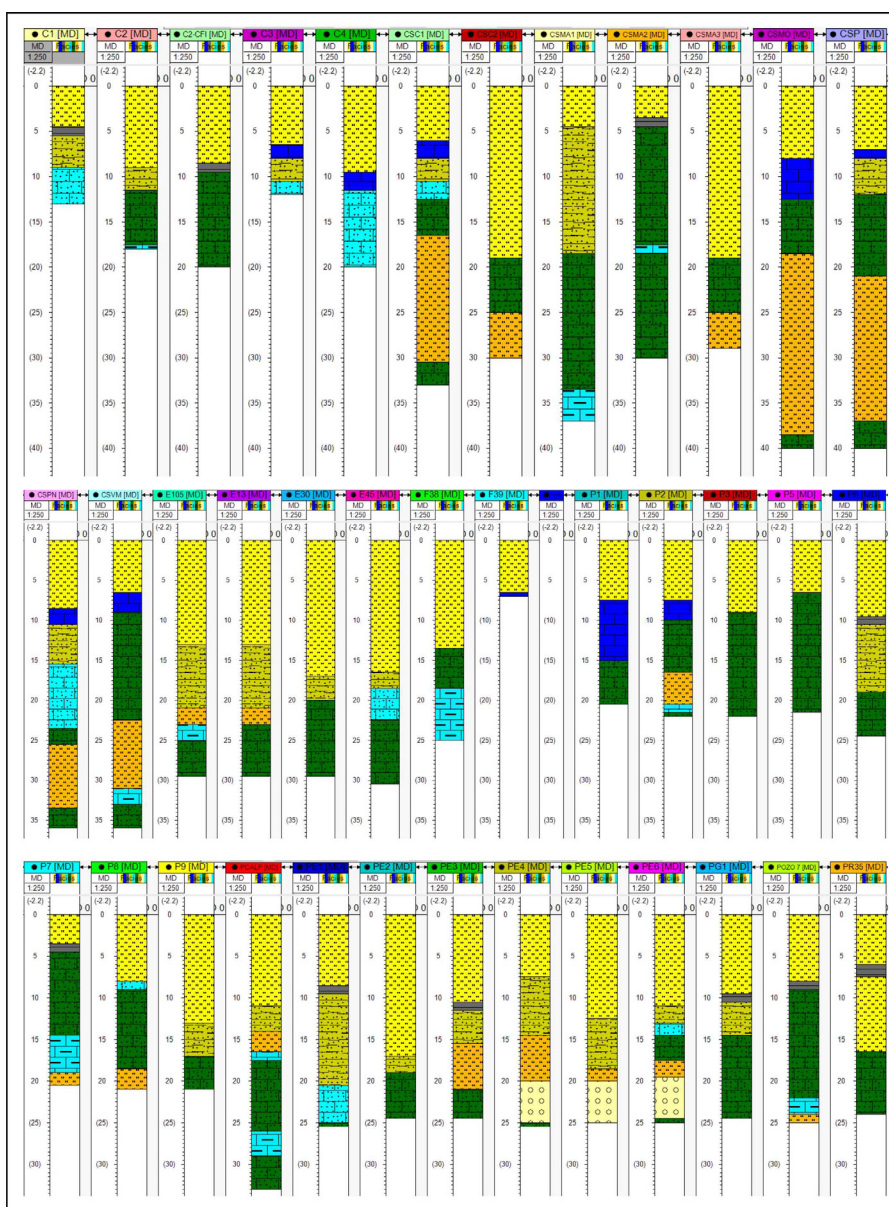


Figura 2.16 Asignación de atributos para los perfiles litológicos.



Se definió un área de trabajo para el grillado 3D de 150 Km² en tanto que el tamaño de celda empleada para el grillado 2D fue de 50 x 50 m. Posteriormente se calculó el esqueleto de la grilla (“Grid esqueleton”).

Code	Name	Pattern
1	Arena f	
2	Conch	
3	HrzOrg	
4	Arc aren	
5	Arena m/f c/conc	
6	Arc carb aren	
7	Lentes arena f	
8	Arena qtz	
9	Lentes conch/arc	

Figura 2.17 Códigos asignados para cada litología.

Luego se incorporaron a la grilla mediante un proceso remuestreo, las superficies de interés que fueron; la superficie topográfica; la base del primer conjunto arenoso (“Base 1”) y un nivel de referencia para el grillado de -40 msnm. De este modo se definieron intervalos verticales o zonas del geomodelo.

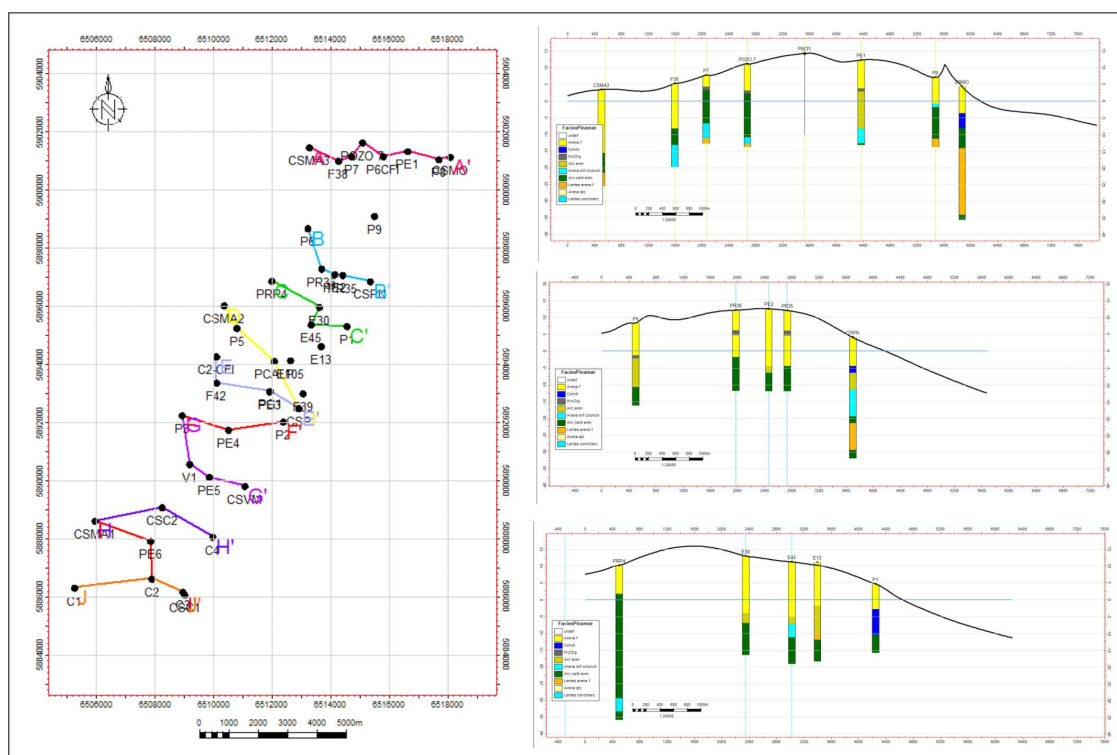


Figura 2.18 Cortes estructurales realizados para el control de calidad.

Seguidamente se realizó una subdivisión vertical de las zonas en un proceso llamado “layering” que implica la definición del alto de las celdas 3D que en este caso se definió en 0,5 m quedando así conformada una

Para realizar el modelado de la litología fue necesario el remuestreo de los perfiles de facies de los pozos en la grilla 3D definida. Esta operación es posible mediante un proceso de escalado de perfiles (“Log upscaling”), en donde se le asigna a cada celda del modelo que atraviesa el pozo, un valor de la propiedad



del perfil (Figura 2.20). Para perfiles de propiedades continuas (e.g., porosidad, gamma natural, resistividad, etc) se calcula el promedio de las muestras del perfil que incluye la celda pero para propiedades discretas como las facies, se utilizó la moda de los valores que atraviesan la celda.

Los datos de litofacies definidas en pozos incluidos en la grilla 3D se interpolan en X-Y-Z de tal forma de obtener un volumen 3D de facies. Esto se realiza mediante el método kriging de indicador ("Kriging indicator"). La parametrización del algoritmo y la definición de variogramas para cada facies se muestra en la tabla 2.21.

Facies	Fraction	%	Azimuth	Dip	Nugget	Type	Major	Minor	Vertical
1: Arena f	3.85	Manual <input type="checkbox"/>	0	0	0.0001	Spherical	3000	3000	1
2: Conch	3.77	Manual <input type="checkbox"/>	30	0	0.0001	Spherical	1000	200	1
3: HrzOro	1.74	Manual <input type="checkbox"/>	30	0	0.0001	Spherical	1000	800	1
4: Arc aren	16.07	Manual <input type="checkbox"/>	0	0	0.0001	Spherical	3000	3000	1
5: Arena m/f c/conch	5.1	Manual <input type="checkbox"/>	30	0	0.0001	Spherical	2000	1000	1
6: Arc carb aren	46.05	Manual <input type="checkbox"/>	0	0	0.0001	Spherical	3000	3000	1
7: Lentes arena f	15.88	Manual <input type="checkbox"/>	30	0	0.0001	Spherical	2000	1000	1
8: Arena otz	2.99	Manual <input type="checkbox"/>	30	0	0.0001	Spherical	3000	1000	1
9: Lentes conch/arc	4.54	Manual <input type="checkbox"/>	0	0	0.0001	Spherical	500	200	1

Figura 2.21 Parametrización del algoritmo y definición de variogramas para cada facies.

2.6. INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO

Con el objeto de obtener un conjunto de puntos de medición que resultaran representativos y homogéneos de todo el partido se confeccionó una grilla con un diseño de malla del orden de 2 Km².

En general el término monitoreo se define como la medición continua y estandarizada del ambiente (UNESCO/WHO, 1978). El monitoreo de aguas subterráneas puede ser entendido como un programa técnicamente estandarizado de observaciones, mediciones y de análisis de variables físicas, químicas y biológicas seleccionadas (Vrba, 2000).

Los objetivos del monitoreo de aguas subterráneas son:

- Obtener, procesar y analizar los datos sobre la calidad del agua subterránea como una línea de base para establecer el estado actual y las tendencias evolutivas, en el tiempo y el espacio, de la calidad del agua subterránea debida a procesos naturales y/o impactos de la actividad humana.
- Proveer información para mejoras en la planificación, legislación y manejo de la protección del agua subterránea y conservar su calidad

La medición sistemática de variables resulta en un diagnostico confiable el cual permite a su vez, realizar predicciones certeras acerca del comportamiento del sistema en forma integrada. El agua subterránea se trata, como todo sistema natural, de un objeto de estudio dinámico por lo tanto el monitoreo sistemático resulta una herramienta indispensable para el análisis de este tipo de acuíferos.



Se destinaron 3 campañas a la búsqueda de perforaciones existentes (Figura 2.22) seleccionándose solo aquellos pozos en los que se conocían las características técnicas de la perforación (profundidad, segmento ranurado, litología, etc). En este sentido se contó con el asesoramiento por parte del personal de la Cooperativa de Agua y Luz de Pinamar quienes brindaron información relevante acerca de los pozos existentes.



Figura 2.22 Perforaciones existentes. Pinamar (A y D). Pinamar norte (B y F), Valeria del Mar (C), Carilo (E).

La grilla fue completada mediante la ejecución de nuevas perforaciones, los materiales utilizados para su construcción fueron tuberías de PVC reforzado de 63 mm de diámetro, con juntas termo-selladas, tapones y tornillos de seguridad instalados con el objeto de evitar actos de vandalismo. Las profundidades de estos sondeos oscilaron entre los 10 y los 24 metros. Adicionalmente y con la finalidad de evaluar el comportamiento del sistema acuífero en profundidad se dispusieron 7 perforaciones someras ubicadas en forma contigua a las anteriormente mencionadas conformando de este modo pares “somero-profundo”.

Por último se realizaron 22 perforaciones más, de las cuales 12 estuvieron destinadas a la determinación de parámetros hidráulicos mediante la ejecución de perforaciones de explotación y sus respectivos pozos de observación con profundidades de 24 metros en cada caso.

Las 10 perforaciones restantes se asignaron al estudio de la relación agua dulce-salobre y dulce-salina en los límites occidental y oriental del cordón costero respectivamente y a la determinación del espesor acuífero en la porción central. Estas últimas poseen una profundidad final de 36 a 40 metros y fueron ranuradas manualmente en su totalidad con el objeto de verificar variaciones de los parámetros físico-químicos e isotópicos en profundidad. La distribución de estas últimas 10 perforaciones “profundas” se dispuso del siguiente modo: 5 perforaciones cercanas a la línea de costa, en las localidades Montecarlo (CSMO - Balneario “La Deriva”), Pinamar Norte (CSPN -Balneario “La Frontera”), Pinamar Centro (CSP - Bunge y Playa), Valeria del Mar (Balneario CSVM - “La Pergola”) y Cariló (CSC1 - Balneario “Divisadero”); 3 sobre la llanura continental ubicados dentro del partido de General Madariaga a unos 200 metros



aproximadamente de la RP N°11 (CSMA1, CSMA2 y CSMA3) y 2 ubicados en la porción central del cordón en las localidades de Carilo (CSC2) y Pinamar Centro (PCALP).

De esto modo quedó conformada una red de monitoreo compuesta por 67 pozos monitores (Figura 2.23) de los cuales 47 se realizaron durante el transcurso de esta tesis mientras que las 20 restantes se tratan de perforaciones antecedentes (tablas 2.4 y 2.5) la cual permitió obtener datos mensuales, diarios y horarios de niveles hidráulicos como así también la extracción de muestras para análisis físico-químicos e isotópicos.

Nombre	Localidad	Coordenada X	Coordenada Y
P 35	Carilo	6.505.291	5.886.340
P 33	Carilo	6.507.901	5.886.707
P 34	Carilo	6.509.003	5.886.211
P 24	Valeria del Mar	6.509.223	5.890.637
P 30	Carilo	6.510.007	5.888.122
P 14	Pinamar Norte	6.514.597	5.895.376
P 22	Pinamar	6.512.440	5.892.087
P 19	Ostende	6.508.997	5.892.259
P 12	Pinamar	6.510.797	5.895.262
P 5	Montecarlo	6.517.746	5.901.105
P7	Pinamar Norte	6.513.221	5.898.696
P3	Montecarlo	6.514.760	5.901.223
FP35	Cariló	6.505.289	5.886.336
FP5	Montecarlo	6.517.750	5.901.109
F12	Pinamar	6.510.799	5.895.265
FP3	Pinamar	6.514.754	5.901.215
FP7	Pinamar Norte	6.513.217	5.898.692
F33	Cariló	6.507.904	5.886.708
F36	Gral. Madariaga	6.509.956	5.894.363
F37	Gral. Madariaga	6.506.084	5.888.605
F38	Gral. Madariaga	6.514.330	5.901.067
F39	Pinamar	6.513.008	5.892.924
F41	Pinamar	6.512.339	5.893.800
F42	Pinamar	6.510.142	5.893.442
P2	Montecarlo	6.516.289	5.901.263
CSVM	Valeria del Mar	6.511.089	5.889.834
CSP	Pinamar	6.512.911	5.892.526
CSPN	Pinamar Norte	6.515.325	5.896.830
CSMO	Montecarlo	6.518.078	5.901.167
CSMA1	Gral. Madariaga	6.506.086	5.888.605
CSMA2	Gral. Madariaga	6.510.361	5.896.040
CSMA3	Gral. Madariaga	6.513.271	5.901.478
CSC1	Carilo	6.509.161	5.886.297
CSC2	Carilo	6.509.050	5.888.993
PCALP	Pinamar	6.512.073	5.894.118



PE1	Montecarlo	6.516.581	5.901.345
PO1	Montecarlo	6.516.592	5.901.343
PO2	Pinamar Norte	6.514.137	5.897.094
PE2	Pinamar Norte	6.514.139	5.897.100
PE3	Pinamar	6.511.884	5.893.014
PO3	Pinamar	6.511.871	5.893.017
PE4	Ostende	6.510.503	5.891.737
PO4	Ostende	6.510.501	5.891.732
PE5	Valeria del Mar	6.509.845	5.890.154
PO5	Valeria del Mar	6.509.845	5.890.160
PE6	Carilo	6.507.916	5.887.952
PO6	Carilo	6.507.905	5.887.960

Tabla 2.4 Perforaciones realizadas durante el transcurso de este trabajo.

Nombre	Localidad	Coordenada X	Coordenada Y
P8	Pinamar	6.511.961	5.896.879
P4	Montecarlo	6.515.883	5.901.207
P13	Pinamar	6.513.241	5.895.383
P10	Pinamar Norte	6.514.823	5.896.825
P11	Pinamar	6.513.173	5.896.276
P21	Pinamar	6.511.119	5.892.587
P26	Valeria del Mar	6.510.521	5.889.789
P27	Ostende	6.509.928	5.892.026
P31	Carilo	6.508.384	5.887.113
P28	Valeria del Mar	6.507.340	5.889.229
P29	Valeria del Mar	6.509.013	5.889.566
P15	Pinamar	6.510.195	5.894.218
BS	Pinamar	6.513.587	5.896.817
OS1	Pinamar	6.513.589	5.896.820
OS2	Pinamar	6.513.590	5.896.822
OF1	Pinamar	6.513.591	5.896.819
OF2	Pinamar	6.513.593	5.896.821
P18	Pinamar	6.512.998	5.896.588
F40	Pinamar	6.511.347	5.893.833
F43	Pinamar	6.511.469	5.894.100

Tabla 2.5 Perforaciones antecedentes incluidas en la red de monitoreo.

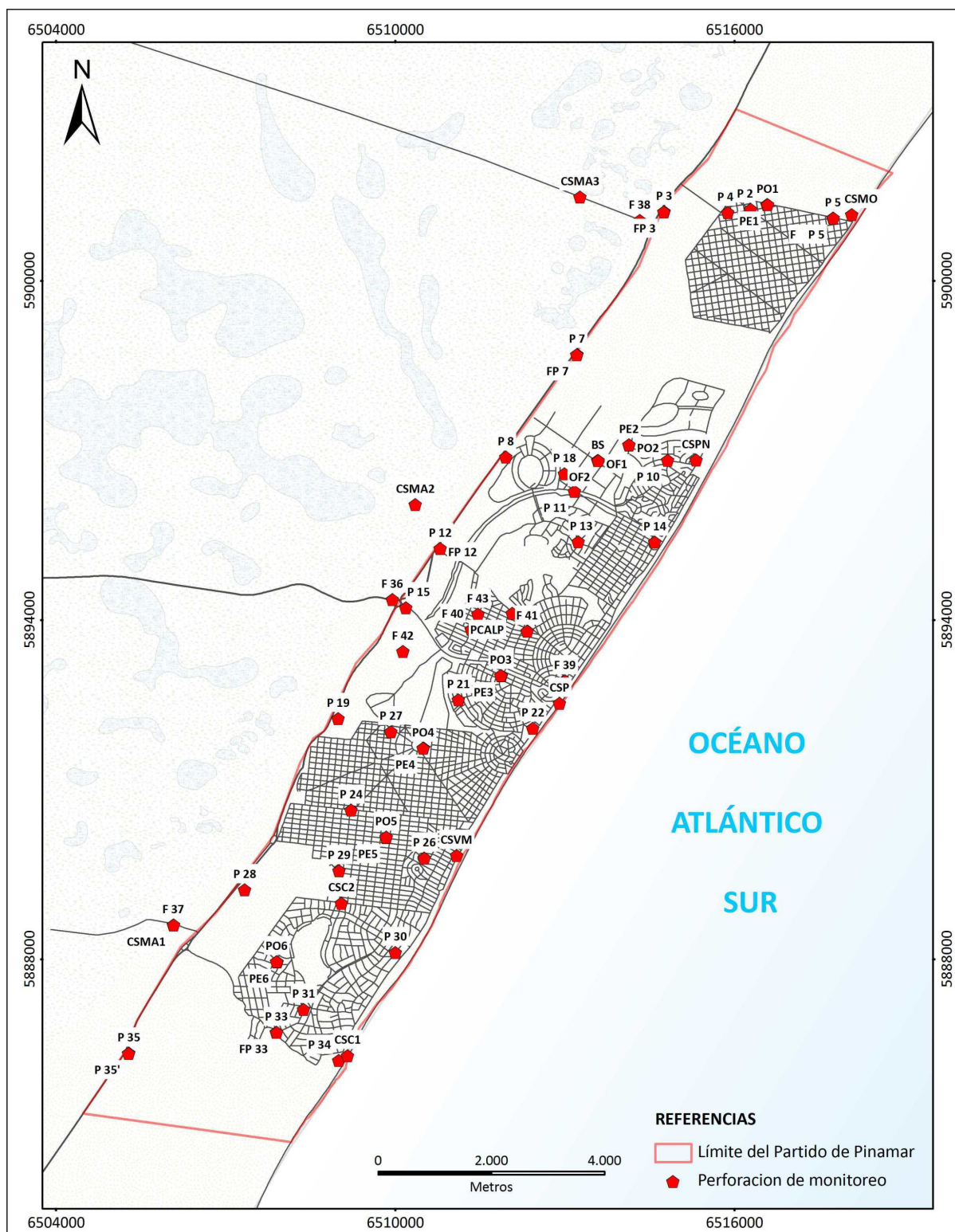


Figura 2.23 Red monitorea del acuífero costero instalada en el Partido de Pinamar.



2.7 MUESTREOS Y MEDICIONES DE NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA

Se planificó y ejecutó la medición sistemática de niveles de agua subterránea durante el periodo septiembre de 2011 - marzo de 2015. La medición se realizó empleando sondas de nivel de diferentes longitudes en tanto que los datos fueron volcados a planillas de campo.

La escala temporal básica de medición fue mensual, obteniéndose 40 registros mensuales consecutivos de las 67 perforaciones de monitoreo. Las condiciones climáticas fueron homogéneas durante el lapso en que se realizaron las mediciones.

2.7.1 REGISTRADORES CONTINUOS (DIVERS)

Se instalaron registradores continuos de nivel y temperatura de agua subterránea a partir de los cuales se obtuvieron datos diarios y horarios. El objeto de dicha tarea fue el de definir los tiempos de respuesta entre los eventos de precipitación los niveles medidos en las perforaciones.

El equipo registrador cuenta con una resolución de 0,2 cm, un rango de 9 metros y una exactitud de 0,1% de la escala total, y opera en un rango de temperatura que van desde los -20 hasta los 80 °C. Así mismo tiene una memoria interna y una base portable dotada de un cable interfaz USB partir del cual se realiza la calibración, configuración y descarga de las mediciones a un archivo.

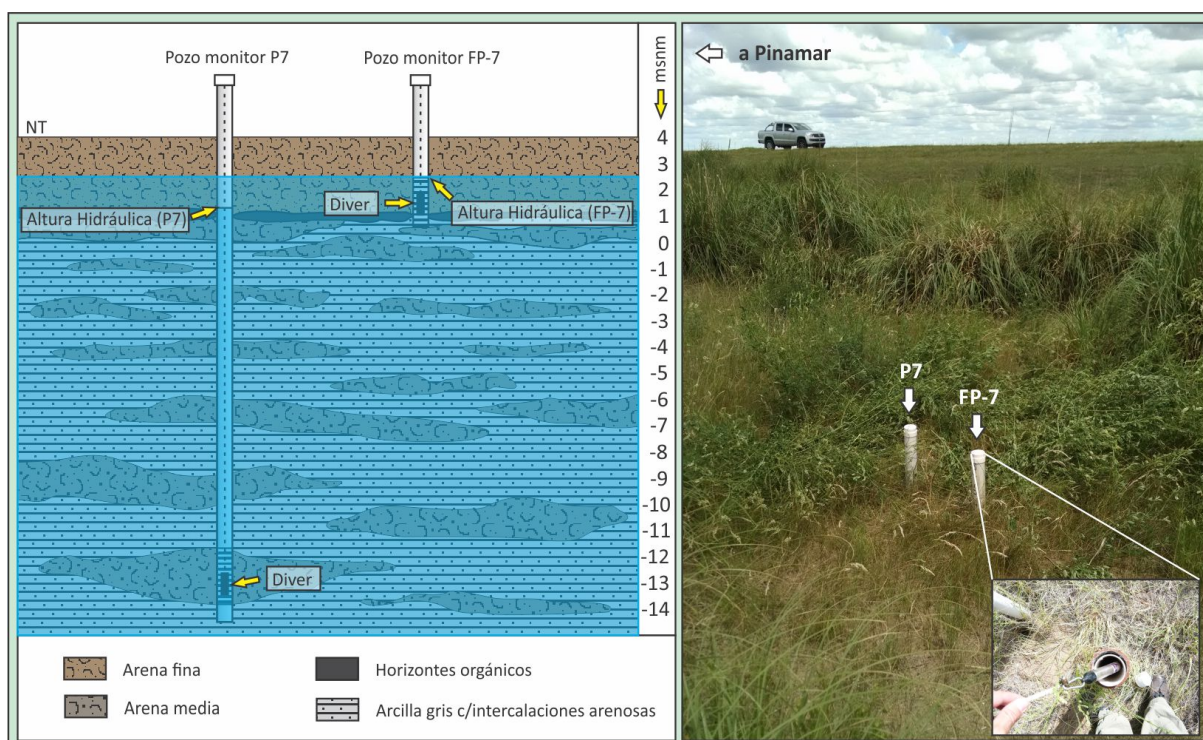


Figura 2.24 Diagrama constructivo de los pozos monitores y los pares “someros – profundos” y esquema funcional de los registradores (Izq). Instalación de registradores continuos (Divers) en los pares de pozos P7 y FP7 (Der). (Fecha de la fotografía 28/02/2013)



La tarea incluyó la calibración y configuración previa de los registradores en el gabinete mediante el empleo del software Levellogger 3.2.3 y su posterior instalación y puesta en marcha en el campo en donde se verificó que tuvieran una columna de agua no menor a los 2 metros de acuerdo lo especificado por el fabricante (Figura 2.24).

Previamente y con el objeto de evaluar la precisión y exactitud de los datos obtenidos se realizaron ensayos de laboratorio con los sensores.

La experiencia consistió en la puesta en marcha de 5 registradores continuos en una pileta de natación cuya operatividad permitía cambiar la profundidad de los registradores. Inicialmente se los colocó a 0,93 m por debajo del nivel de agua, luego se cambió a 0,72 m durante 24 hs y finalmente a 0,48 m durante 24 hs más. Los resultados obtenidos permitieron reconocer que las variaciones de nivel menores a 2 cm no deben ser tenidas en cuenta y que las menores a 0,004 cm son asignables al ruido de fondo introducido por la resolución del equipo; que la variación diaria de la presión atmosférica debe ser incluida en el análisis de detalle; que existen ligeras diferencias de calibración entre equipos del mismo modelo y que un cambio de 14°C en la temperatura del agua genera un error del orden del 5% (Guaraglia et al., 2013).

De este modo se establecieron los recaudos y recomendaciones a tener en cuenta tanto durante las tareas de instalación como en las de procesado y valoración de los datos obtenidos.

2.7.2. MUESTREOS HIDROQUÍMICOS

Se efectuaron tres muestreos generales en la red de monitoreo de aguas subterráneas (noviembre de 2011, marzo de 2012 y noviembre de 2014).

Las tareas previas en gabinete consistieron en la selección de los puntos representativos, la confección de planillas de muestreo, y la definición de la logística a utilizar para el transporte de las muestras al laboratorio. El material empleado para llevar a cabo esta actividad fueron envases plásticos de 1 litro con roscas de seguridad, rotuladores, conductívimetros, bombas sumergibles, mangueras plásticas, baterías de 12 volt, cajones plásticos, geles térmicos y conservadoras portátiles (Figura 2.25).

Para el purgado de los pozos se empleó una bomba sumergible de 12-15 volt y 18 amperes construida en PVC y acero de inoxidable (Figura 2.25 B), con un diámetro de 1,82" y con una capacidad de descarga aproximada de 8 a 10 litros por minuto en función de la altura manométrica. La conducción del agua extraída se realizó a través de una manguera plástica de ½" de diámetro y 60 metros de longitud. De este modo, y teniendo en cuenta el volumen contenido en cada pozo monitor se bombeo durante 20' a 30' cada perforación procurando la extracción de 3 a 5 veces el volumen contenido dentro de la perforación. Finalmente se midió la conductividad y los envases fueron rotulados y refrigerados con geles térmicos en conservadoras hasta su despacho final en el laboratorio.



Se realizaron determinaciones de HCO_3^- , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, Na^+ , Mg^{++} , Ca^+ , K^+ , NO_3^- , NO_2^- , SDT, pH, CE, Fe total, Mn^{++} , As, F y Br. Las técnicas analíticas empleadas por el laboratorio citado se pueden observar en la tabla 2.6.

Adicionalmente y con la finalidad de evaluar la evolución de la salinidad en sectores críticos se llevaron a cabo 6 campañas de medición de conductividad eléctrica y temperatura del agua subterránea durante septiembre de 2011, marzo y diciembre de 2012, marzo de 2013 y marzo y noviembre de 2014. Además se extrajeron muestras de agua en sondeos temporarios realizados sobre el sector de playa.

Así mismo se realizaron perfilajes de conductividad eléctrica sobre los sondeos profundos ubicados sobre la ruta y la playa, esta tarea se llevo a cabo mediante la utilización de una sonda de medición multiparamétrica de temperatura, conductividad eléctrica y nivel del agua subterránea (Solinst Modelo TLC 107) (Figura 2.25 D). En este caso las medidas se efectuaron en forma descendente y con intervalos de 1 metro hasta el final del sondeo.



Figura 2.25 Extracción de muestras de agua. Toma de datos in-situ (A y C), purgado de las perforaciones (B), perfilaje con sonda multiparamétrica.



Determinación	Técnica	Método
Conductividad eléctrica (CE)	Conductivímetro	SM 2510-B
pH	Electrométrico	SM 4500-H+B
Sólidos disueltos totales (SDT)	Gravimétrico	SM 2540 C
Bicarbonatos (HCO_3^-)	Volumétrico	SM 2320 B
Cloruros (Cl^-)	Argentométrico. Método Mohr	SM 4500 Cl- B
Sulfatos (SO_4^{2-})	Nefelométrico	SM 4500-E Turbidim.
Sodio (Na^+)	Espectrometría de Absorción Atómica	EPA 7770-EAA
Potasio (K^+)	Espectrometría de Absorción Atómica	EPA 7610-EAA
Calcio (Ca^{++})	Espectrometría de Absorción Atómica	EPA 7140-EAA
Magnesio (Mg^{++})	Espectrometría de Absorción Atómica	EPA 7450- EAA
Nitratos (NO_3^-)	Electrodo selectivo	SM 4500 NO3 E
Nitritos (NO_2^-)	Fotométrico	SM 4500 NO2 B
Bromuros (Br^-)	Método electrodo de ion selectivo	SM 4500 Br -B
Hierro (Fe total)	Espectrometría de Absorción Atómica	EPA 7380-EAA
Manganeso (Mn^{++})	Espectrometría de Absorción Atómica	EPA 7460-EAA
Fluoruros (F^-)	Electrodo selectivo	SM 4500 F- D
Arsénico (As^-)	Generador de hidruros + Espectrometría de Absorción Atómica	EPA 7061 A

Tabla 2.6 Técnicas y métodos utilizados durante las determinaciones de laboratorio.

2.8. REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE BOMBEO

Los ensayos de bombeo son una de las técnicas más útiles para la caracterización de acuíferos y consiste en el estudio y análisis de las variaciones de los niveles de agua subterránea en un sondeo durante la extracción de un caudal determinado. La determinación de los parámetros hidráulicos transmisividad (T), permeabilidad (K) y coeficiente de almacenamiento (S) permiten definir el volumen de agua que pasa por una sección así como también las reservas. Adicionalmente la metodología permite obtener información acerca del rendimiento de la perforación y de este modo establecer y planificar el tipo de perforación y los materiales óptimos a utilizar durante la creación de las mismas (Kruseman y de Ridder, 1994).

La caracterización de los parámetros hidráulicos se efectuó mediante la realización de 8 ensayos de bombeo (Figura 2.26) ubicados en las localidades de Montecarlo (EB-1), Pinamar Norte (EB-2), Pinamar (EB-3A y EB-3B), Ostende (EB-4A y EB-4B), Valeria del mar (EB-5), y Cariló (EB-6). Se analizaron las variaciones de los niveles de agua en los pozos durante (descensos) y después (recuperación) del bombeo a caudal constante.

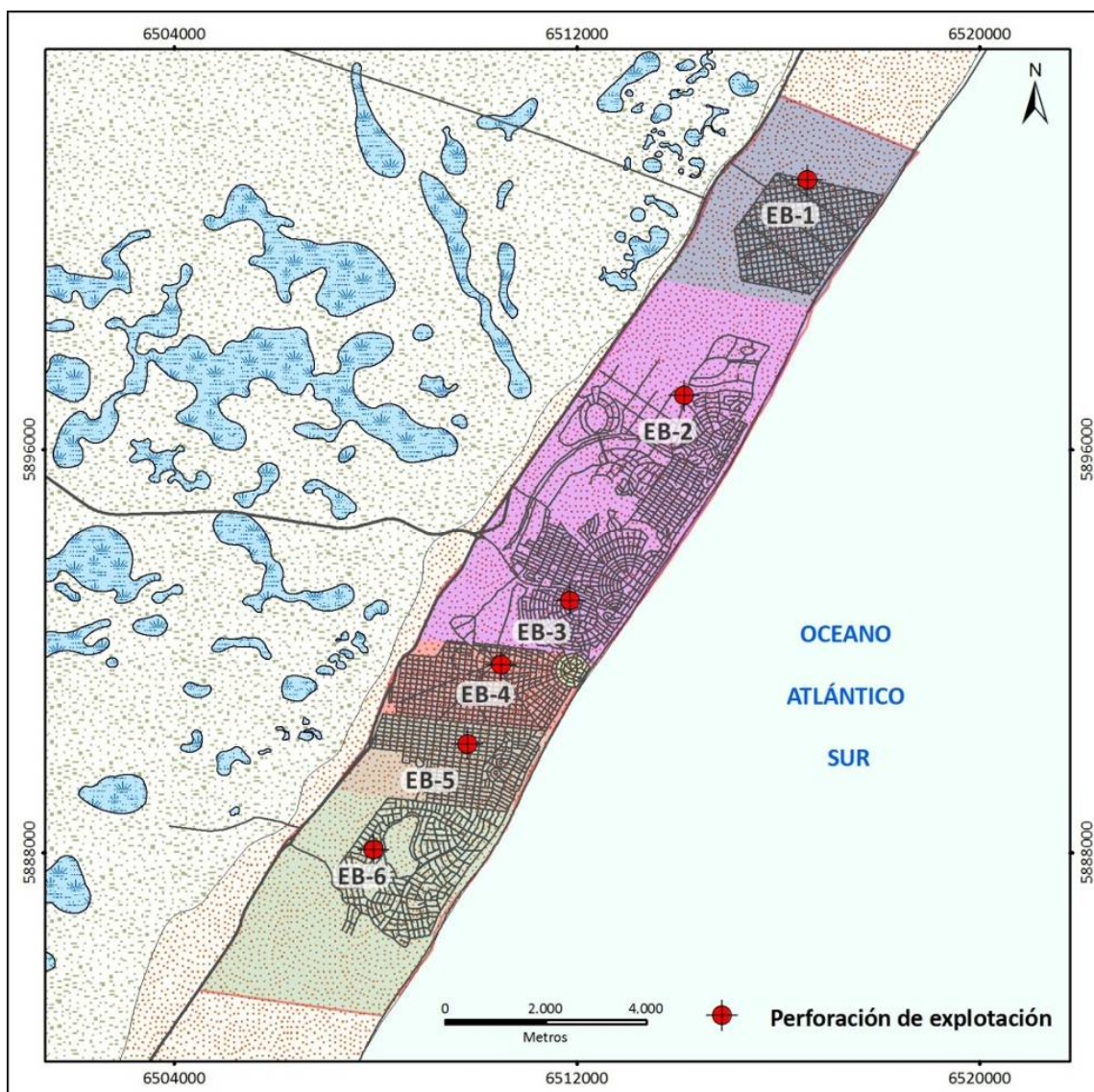


Figura 2.26 Ubicación de los ensayos de bombeo realizados.

Los test utilizados para el análisis de las variaciones de los niveles estuvieron en función de la disponibilidad, el tipo, la cantidad y calidad de los datos medidos en cada caso particular. Las metodologías empleadas para el análisis de los ensayos fueron las desarrolladas por Theis (1935), Hantush - Jacob (1955), y Neuman (1975), mientras que los valores de recuperación se evaluaron mediante la solución propuesta por Theis & Jacob. Si bien no se realiza una descripción detallada de los supuestos bajo los cuales se han desarrollado cada una de las metodologías, se asumen las premisas establecidas por los autores mencionados anteriormente para cada técnica.

Las tareas de gabinete previas al ensayo consistieron en la planificación de aspectos tales como ubicación, diseño y selección de los materiales a utilizar en las perforaciones así como también la organización de la logística a emplear durante los ensayos (equipos, duración y métodos). También se elaboraron planillas de bombeo y se calibraron y configuraron los registradores de nivel.



Los trabajos de campo incluyeron la ejecución de perforaciones de explotación con sus respectivos pozos de observación (Figura 2.27). Para llevar a cabo esta tarea se utilizaron equipos de perforación rotativos con circulación directa. La elección del método se fundamenta en que dicha técnica otorga velocidades de perforación mayores que las obtenidas mediante la circulación inversa a la vez que permite la creación de revoques más consistentes los cuales brindan un mayor tiempo de retardo en ante el desmoronamiento que se produce durante las operaciones de extracción de las barras y colocación de las cañerías filtrantes y de aislación.

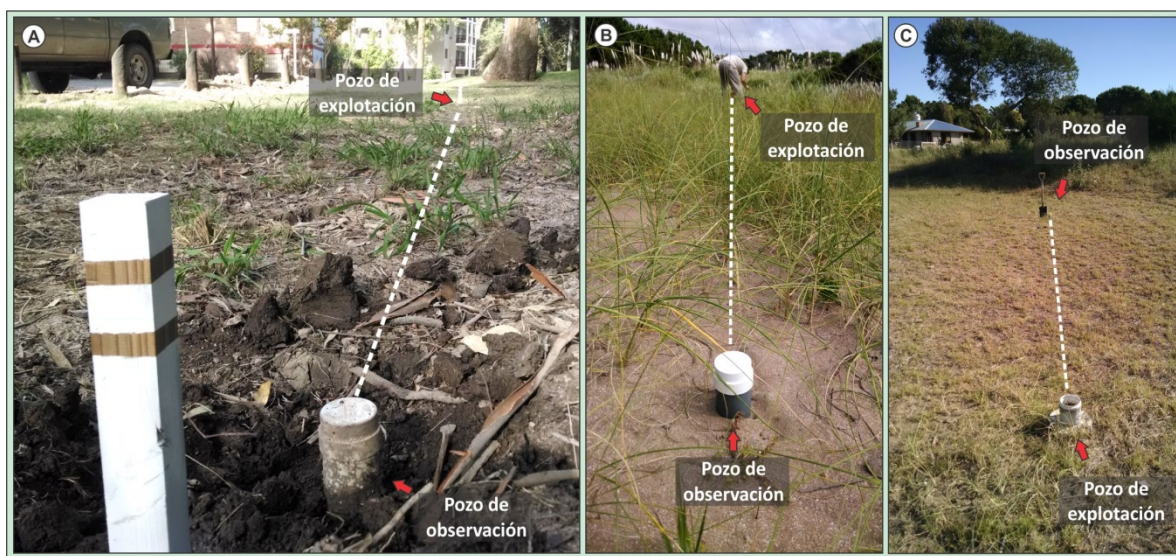


Figura 2.27 Perforaciones de explotación y observación en Pinamar (A), Ostende (B) y Montecarlo (C). (Fecha de la fotografía 16/10/2014)

En una primera instancia se realizó un sondeo de reconocimiento con una mecha tipo cola de pescado con un diámetro de 5” hasta una profundidad aproximada de 24,00 mbbp (metros bajo boca de pozo) efectuándose un muestreo sedimentológico seriado cada 1 m el cual fue dispuesto en bolsas plásticas de muestreo (Figura 2.28 b). La descripción de campo del material cutting se confeccionó a una escala mesoscópica por el método táctil-visual con el objeto de establecer el perfil litológico del subsuelo. A partir de los datos obtenidos se proyectó el pozo de explotación, contemplando la profundidad adecuada para la localización de la unidad filtrante en el sector de máxima permeabilidad, ajustándose a las medidas del caudal pretendido (6 a 8 m³/h).

El entubamiento se realizó mediante la colocación de tramos de 4 metros de PVC reforzado con un diámetro de 4”. Las unidades filtrantes instaladas consistieron en filtros de doble malla de tela (poliester) de 4 metros de longitud (Figura 2.28E). Una vez colocada las cañerías de aislación y filtrantes se introdujo material silicio en el espacio anular resultante de la pared de la formación y el diámetro exterior del filtro. Se constató la cantidad y calidad de dicho material, verificando su limpieza. El material se dispuso de tal modo que recubra los filtros. Finalmente se procedió al desarrollo mediante el bombeo a caudal constante durante



2 horas verificando que el agua extraída fuera límpida sin arrastre de partículas sólidas. Posteriormente se construyó un dado de cemento y se colocó una tapa de seguridad en cada perforación.



Figura 2.28 Perforaciones de explotación. Muestreo en boca de pozo (A y B), material utilizado para el engravado (C), equipo de bombeo empleado durante el desarrollo de la perforación (D), y cañerías de aislación y filtros de doble malla de tela poliéster (E).

De forma similar se realizaron las perforaciones de observación, las cuales se ubicaron a una distancia entre 6 y 10 m respecto al pozo de explotación. En este caso el diámetro de perforación utilizado fue de 3” mientras que las cañerías de aislación y filtros fueron de 2½ pulgadas. En este caso el muestreo se realizó solo con el objeto de verificar el perfil estratigráfico confeccionado durante la ejecución del pozo de bombeo.

Ensayo de bombeo

Los ensayos de bombeo se efectuaron mediante el empleo de una bomba sumergible monofásica de 1,5 Hp de potencia dotada de un tablero eléctrico el cual se conectó a la fuente de alimentación eléctrica. Los materiales utilizados (Figura 2.29) consistieron en mangueras de PVC de 1½ de diámetro y 100 m de longitud, además se emplearon llaves tipo Stilson, cintas métricas, cables de acero, abrazaderas, codos y reducciones de PVC, una garrafa de gas envasado, un taladro, cintas aisladoras y termo-contráctiles, linternas, cronómetros, calculadoras, registradores de nivel automáticos y una sonda de nivel de 50 metros la cual fue utilizada para obtener los datos con los que se completaron las planillas de bombeo. En los casos en los cuales no se contó con acceso a corriente alterna se utilizó un grupo electrógeno portátil naftero modelo Shimura de 6,5 Kva de potencia (Figura 2.29a).



Figura 2.29 Ensayos de bombeo. Esquemas de trabajo en Pinamar centro (A), Valeria del Mar (B) y Cariló (C). Mediciones manuales en el pozo de explotación (D) y bomba sumergible utilizada (E).

La operación en el pozo de bombeo consistió en la colocación de una bomba sumergible dentro de la perforación de explotación conjuntamente con un registrador de nivel cuya frecuencia de muestreo fue configurada para 1 minuto por registro. Este último fue ubicado en una posición intermedia entre la bomba sumergible y el nivel de agua con el objeto de evitar valores erróneos asociados a la vibración del motor de la bomba. En todos los casos se verificó que la columna de agua existente por encima del registrador de nivel fuera mayor a los 2 metros de acuerdo a lo especificado por el fabricante y a lo recomendado en Guaraglia (op. cit).

El agua extraída fue impulsada mediante una cañería de PVC de 1½ de diámetro a una distancia no menor a 100 metros con el objeto de evitar efectos de recarga local en el área afectada al bombeo (Figura 2.29 a, b y c). El aforo del caudal se efectuó empleando un recipiente de 20 litros registrando el tiempo de llenado, esta operación se repitió 5 veces y se obtuvo el valor promedio respectivo.

Del mismo modo se instaló un registrador de nivel en el pozo de observación y se dejó estabilizar durante 15 minutos con el fin de que las mediciones de nivel y temperatura fueran uniformes.



Finalmente se verificó que todo el equipo estuviera en condiciones, se midieron manualmente los niveles estáticos en ambos sondeos y se dio inicio al bombeo.

Los intervalos de medición manuales estuvieron en función de la magnitud de variación del nivel de agua tomando un intervalo de 30 segundos durante los 3 primeros minutos, de 1' hasta los 10 minutos siguientes, de 2' hasta los 20 minutos, 5' hasta los 40 minutos, de 10 hasta los 60 y luego cada 30 minutos hasta el final del ensayo. Asimismo se tomaron otros datos como lugar, fecha, coordenadas GPS, hora de inicio y final del bombeo, distancias entre las perforaciones de explotación y de observación, profundidad de la bomba y de los registradores, los caudales aforados así como otros aspectos particulares de cada ensayo.

Las duraciones de los ensayos fueron variables, no obstante en todos los casos se corroboró que se alcanzarán las condiciones de régimen permanente (equilibrio). En este sentido se realizaron 5 ensayos de bombeo con una duración de 6 horas y 3 ensayos de 24 horas, el objeto de estos últimos fue evaluar el comportamiento hidrodinámico y verificar existencia de fenómenos de recarga diferida.

Una vez finalizado el bombeo, se realizó el ensayo de recuperación de nivel tanto en el pozo de explotación como en el de observación. La operación de medición así como los intervalos de medición empleados fueron similares a los utilizados durante el bombeo. Las mediciones se realizaron hasta que el nivel de agua hubiese alcanzado la posición inicial.

La interpretación de los datos obtenidos a partir de los ensayos se efectuó mediante el empleo de métodos manuales gráficos e informáticos utilizando el programa Aquifer Test for Windows V 2.0.

2.9 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Antecedentes

Los trabajos realizados por González Arzac et al., (1993), fueron un punto de partida para las temáticas geológica, geomorfológica e hidrogeológica. En este mismo sentido, un aporte que ha resultado de relevancia para el desarrollo de la geología regional ha sido el informe de Parker y Violante (1989). También fueron importantes los trabajos llevados a cabo por Cavalloto (1995 y 2002) y Violante et al. (2001) quienes han realizado una síntesis de la evolución geomorfológica Holocena de la llanura ubicada al sur del Río de La Plata.

Se han consultado informes realizados por consultoras privadas tales como HYTSA (2005), BFB (1981), CCP (2003) y Mugni (2005) y otros que son citados en las referencias bibliográficas correspondientes. Si bien la información que estos trabajos han aportado se encuentra en forma parcial y es en algunos casos de carácter local, los resultados han sido considerados cualitativamente en estimaciones regionales.



Elaboración e interpretación de datos generados

Los relevamientos de campo y las perforaciones ejecutadas fueron la base para la caracterización hidrogeológica. Adicionalmente se incluyeron un total 128 perfiles litológicos antecedentes a partir los cuales se realizó una valoración relativa, ponderando distintos aspectos como su posibilidad de ubicación en el terreno y calidad de la descripción geológica del perfil litológico.

Con el objeto de simplificar el sistema y presentar una aplicación directa para la resolución de los problemas hidrogeológicos se empleó el término de "hidrofacies" y de este modo lograr una aplicación hidrogeológica a las unidades geológicas

El término hidrofacies ha sido empleado en el sentido de Anderson (1989), que lo define como una unidad sedimentaria homogénea pero no necesariamente isotrópica, que, formada bajo condiciones particulares conduce a un comportamiento hidrogeológico particular.

Los rangos de permeabilidad adoptados para su caracterización fue asignada en base a los ensayos de bombeo realizados en el campo. Finalmente se elaboró un modelo conceptual de funcionamiento y se realizaron una serie de proyecciones y pronósticos basados en el modelo conceptual propuesto.

2.10 ELABORACIÓN HIDRODINÁMICA

La elaboración hidrodinámica se efectuó en base a los datos de nivel de agua subterránea mensuales relevados en el período septiembre de 2011 marzo de 2015. Se diferenciaron y describieron en forma separada aquellas particularidades relacionadas con el comportamiento natural del agua subterránea de aquellas relacionadas con la actividad antrópica.

El estudio regional del comportamiento hidrodinámico subterráneo se realizó en base a la confección e interpretación de un mapa de flujo promedio a partir del cual se realizó la descripción general de la morfología freática. Adicionalmente y con el objeto de realizar un análisis comparativo entre los niveles someros (<24 m) y los más profundos (entre 24 y 50 m) se elaboró un mapa de flujo cuyos valores surgieron a partir de los registros de nivel obtenidos en los pozos que exceden los 36 m de profundidad.

La descripción de la evolución de las redes de flujo se efectuó en base a mapas de flujo y de isovariación realizados en forma trimestral y semestral a partir de los cuales, además, se estimaron las variaciones observadas en los niveles de agua subterránea. Un especial énfasis mereció el análisis de la evolución de los mapas de flujo entre noviembre y marzo, este lapso comprende la finalización del período de mayor explotación, luego de la temporada turística, y la posterior recuperación de los niveles durante el año.

La estimación de los valores de recarga se realizó mediante el método de las fluctuaciones del nivel freático el cual es expresado por la siguiente fórmula.



$$R = S_y \Delta h / \Delta t$$

En donde S_y es el almacenamiento específico, Δh es la variación del nivel freático en un tiempo Δt determinado.

La estimación de la recarga se efectuó en base al análisis de 12 mapas de isovariación realizados en forma trimestral para el período comprendido entre febrero de 2012 y febrero de 2015. Para el cálculo de las áreas comprendidas entre las curvas de isovariación fue necesario el empleo de la herramienta "Reclassify" del módulo "Spatial Analyst" incluido en el software Arcmap 9.3.

La interpretación individual de la evolución de los niveles se efectuó a partir de gráficos que permitieron integrar los valores de niveles de agua subterránea y las precipitaciones en función del tiempo. Con el objeto de facilitar la comprensión de estas oscilaciones resultó conveniente la agrupación de los datos en 3 conjuntos en función de su posición geográfica dentro del cordón costero y que reciben el nombre de grupos "Oeste", "Central" y "Costero".

El análisis de los diferentes niveles se realizó mediante la interpretación en forma conjunta los registros de niveles mensuales, diarios y horarios registrados en los pares de pozos someros-profundos integrando, además, los perfiles litológicos confeccionados para cada sitio.

Por último se efectuó la evaluación en forma separada de las mediciones obtenidas a partir de los pozos de explotación de la red de abastecimiento de agua potable, estableciendo relaciones entre las magnitudes de ascenso y descenso, la posición relativa respecto al nivel del mar y su relación con la modificación de la red de flujo regional.

2.11 ELABORACIÓN HIDROQUÍMICA

Se contó con información hidroquímica antecedente surgida de los análisis químicos efectuados por Gonzalez Arzac et al. (1993) entre los años 1991 y 1992. Ello incluyó determinaciones de iones mayoritarios y minoritarios (As , F^- , Fe total, NO_3^- , NO_2^- , Mn^{++} y V) de 147 muestras de agua. Así mismo se recopilaron los datos de 36 protocolos físico químicos efectuados por la CALP (Cooperativa de Luz y Agua de Pinamar) entre 1986 y 1993.

El análisis de la información hidroquímica generada se realizó de acuerdo a los resultados analíticos de tres muestreos químicos de aguas subterráneas realizados en noviembre de 2011, marzo de 2012 y noviembre de 2014.

La caracterización hidroquímica regional se basó en una primera instancia a partir del último de los muestreos debido a que es el que mayor de número de muestras contiene. Asimismo y siguiendo la línea de análisis empleada para la elaboración hidrodinámica se consideró conveniente separar los muestreos



químicos en tres grupos los cuales reciben el nombre de sector oeste, central y costero. Se graficaron diagramas de triangulares de Piper, de Schoeller (1935) y poligonales de Stiff con el objeto de evaluar y establecer relaciones entre la química, la geología y la geomorfología.

Para la confección de los mapas de isocontenidos se han excluido de la interpolación a las perforaciones profundas ubicadas sobre el sector de playa por tratarse de valores exageradamente altos en relación al resto de la población de datos. Se realiza un tratamiento particular para este conjunto de pozos en forma detallada al final del capítulo.

Se analizó el comportamiento en forma individual de los elementos mayoritarios y minoritarios a partir de la confección mapas de isoconcentraciones estableciendo la relación existente entre las concentraciones y los posibles factores que afectan su distribución en el Partido.

Separadamente se realizó un tratamiento especial para las perforaciones profundas de acuerdo a los registros de conductividad eléctrica obtenidos a partir de los perfilajes efectuados. Con la finalidad de simplificar el cuadro de situación se emplearon los criterios de Ghyben (1989), Herzberg (1901) y Lusczvnski (1961) a partir de los cuales se pudieron estimar las ubicaciones para las interfases en las localidades de Montecarlo, Pinamar Norte, Pinamar, Valeria del Mar y Cariló. Por último e integrando la información geológica, geomorfológica y geofísica se elaboraron blocks diagramas conceptuales para cada una de las localidades mencionadas anteriormente,

2.11.1 ANÁLISIS DE COMPONENTES NITROGENADOS

Los resultados obtenidos en los censos hidroquímicos indicaron la necesidad de profundizar en los procesos biogeoquímicos de las aguas subterráneas, en particular en las concentraciones y transformaciones de compuestos nitrogenados, dado que la evidencia preliminar indica que difieren de lo que habitualmente se menciona en la bibliografía sobre este tema (U.S. Enviromental Protection Agency, 1994). En función de lo expuesto surgió la necesidad de analizar los mecanismos de migración del nitrógeno en la zona no saturada y en la zona saturada.

Las tareas de campo (Figura 2.30) consistieron en la selección de puntos representativos para la ejecución del muestreo, toma de datos de GPS, medición de profundidad del nivel freático y la extracción de muestras de agua subterránea a diferentes profundidades para su posterior análisis químico en el laboratorio.



Figura 2.30 Extracción de muestras de agua para determinación de componentes nitrogenados (A), sonda de extracción multinivel (B) y adecuación de las muestras para traslado al laboratorio (C).

La selección de los puntos de muestreo se basó en su representatividad de forma que el muestreo abarcara la totalidad del partido de Pinamar. Se seleccionaron 30 puntos de control, a partir de los cuales se extrajeron de 1 a 3 muestras en función de la posición del nivel estático y de la profundidad final de la perforación. La extracción fue llevada a cabo mediante un muestreador discreto de intervalos (Solinst, Model 425) obteniendo muestras de 1 litro en cada intervalo (Figura 2.30B). Estas muestras posteriormente fueron filtradas mediante un equipo de filtración Sartorius, con un filtro de 0,45 micrones a los efectos de eliminar las impurezas y aumentar la precisión del análisis químico. De este modo se redujo el volumen de las muestras a 250 ml, las cuales fueron congeladas y conservadas hasta su determinación en el laboratorio. Para la determinación de los niveles de agua se utilizó una sonda de nivel (Marca Solinst, Modelo 102) con una precisión del orden del cm, mientras que la adquisición de los datos GPS fue realizada con un equipo Garmin eTrex Vista obteniendo coordenadas geodéticas, las cuales posteriormente fueron transformadas a coordenadas planas mediante el empleo del software Geographic Calculator V 6.2.

Las tareas de gabinete y laboratorio consistieron en la recopilación de información antecedente, la selección de puntos representativos, la determinación química de los analitos amonio, nitrito y nitrato en el laboratorio de química y bacteriología del Instituto de Limnología Raul A. Ringuelet (UNLP - CONICET).

La determinación del NH_4^+ se realizó mediante el método de Berthelot, empleando la técnica de formación del azul de indofenol, y su posterior lectura a 635 nm con un espectrofotómetro (Espectrometría de absorción molecular). Se obtuvieron valores de absorbancia los cuales fueron multiplicados por un factor obtenido a partir de una muestra cuya concentración de amonio es conocida. Para la lectura de los tenores de NO_2^- se utilizó la técnica de formación del colorante azoico, mientras que la determinación del NO_3^- se



obtuvo a partir de la reducción del nitrito mediante la utilización de una columna de Cd cobreada y la posterior medición en el espectrofotómetro.

En el caso particular de los NO_3^- , y de acuerdo con la variabilidad observada en los datos obtenidos a partir de las determinaciones, se calcularon valores de fondo natural de este componente. El significado conceptual empleado se corresponde con el propuesto por Edmund y Shand (2008) en donde el fondo es interpretado como "el rango de concentraciones de un elemento dado, de isótopos o compuestos químicos en disolución, totalmente derivadas de fuentes naturales, geológicas, biológicas o atmosféricas, en condiciones no perturbadas por la actividad antropogénica". Para la determinación de este valor se empleó la metodología utilizada por Matteoda (2012), en donde se considera que las mayores influencias antrópicas actúan en el rango de mayores concentraciones, basándose en el hecho de que las concentraciones más uniformes se deben a una influencia natural. De este modo el método permite diferenciar aquellos valores que pertenecen a la "población normal" de aquellos anómalos. La metodología consiste en la representación de los percentiles y la sucesiva exclusión de los valores que se encuentran por encima del percentil 90.

2.12 ISOTOPIA

La caracterización isotópica de las aguas subterráneas se realizó mediante dos campañas de muestreo realizadas en noviembre-marzo de 2012 y noviembre de 2014.

El tratamiento de los datos se realizó mediante la elaboración y análisis de mapas de distribución de contenidos en ‰ para los isótopos de ^{18}O y ^2H , así como también mediante la confección gráficos convencionales $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ integrando en estos las rectas meteóricas locales definidas para la región por Dapeña y Panarello (2004) y Dapeña et al., (2010).

Las tareas de campo consistieron en el purgado de las perforaciones y la extracción de muestras mediante el empleo de una bomba sumergible. Se utilizaron envases de plástico de 1 litro de capacidad los cuales fueron rotulados y refrigerados hasta su despacho en laboratorio. En este sentido se procuró que no quedara aire remanente dentro del envase a los efectos de no favorecer el fraccionamiento isotópico de las muestras. Adicionalmente se realizaron mediciones in-situ de conductividad y temperatura con el objeto de evaluar la necesidad de un tratamiento previo a la determinación isotópica. Por último se elaboraron los protocolos de laboratorio los cuales fueron despachados en forma conjunta con la totalidad de las muestras.

Los análisis isotópicos (^2H y ^{18}O) se realizaron mediante espectroscopia láser con un equipo Los Gatos Research inc. (OA-ICOS: Off-Axis Integrated Cavity Output Spectroscopy) (Lis et al., 2008) en el laboratorio de Isótopos Estables del Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS, CONICET-UBA). Los



resultados isotópicos se expresaron como δ , definido como: $\delta = 1000(RS - RP)/RP$ ‰, donde: ‰ desviación isotópica en ‰; S: muestra; P: referencia internacional; R: relación isotópica ($^2H/^1H$, $^{18}O/^{16}O$). La referencia utilizada es Vienna Standard Mean Ocean Water (V-SMOW) (Gonfiantini, 1978). Las incertidumbres son $\pm 0,3$ ‰ para δ ‰ ^{18}O y $\pm 1,0$ ‰ para δ ‰ 2H . Por definición, el valor $\delta_{V-SMOW} = 0$ ‰. Por lo tanto, un δ positivo indica una mayor concentración de los isótopos pesados ^{18}O o 2H que la referencia.

Los datos isotópicos se representaron en diagramas convencionales δ^2H vs. $\delta^{18}O$ y Cl^- (meq/L o mg/L) vs. $\delta^{18}O$.

Con el objeto de evaluar la existencia de procesos de evaporación y mezcla, se determinaron e interpretaron datos de exceso de deuterio “d” (Dansgaard, 1964), cuyo valor es la ordenada al origen y viene definido por la ecuación (5).

$$d = \delta^2H - 8 * \delta^{18}O \quad (5)$$

2.13 EVOLUCIÓN POBLACIONAL

La evolución poblacional del Partido de Pinamar se efectuó a partir de los datos de cantidad habitantes (varones y mujeres) y su variación intercensal publicados en los Censos de Población y Vivienda (INDEC 2010).

Además se realizaron numerosas consultas con la Dirección de Planificación de Partido de Pinamar con el objeto de contar con los datos de población estimados por esta dependencia para cada localidad para el 2014, así como también aquellos publicados por la Cooperativa de Agua y Luz de Pinamar.

CAPÍTULO 3

ÁREA DE ESTUDIO





CAPITULO 3 | CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el borde oriental de la Provincia de Buenos Aires se ubica el Partido de Pinamar ($37^{\circ} 6' 36.66''$ Latitud Sur; $56^{\circ} 52' 17.83''$ Longitud W) (Figura 3.1). Comprende una superficie de 66,2 Km² distribuidos entre las localidades de Montecarlo (17,3 de la superficie %), Pinamar (41,3%), Valeria (8,6%), Carilo (24,4%), Ostende (7,8%) y Mar de Ostende (0,5%). Si bien estas dos últimas se tratan de localidades catastralmente diferentes, se ha unificado su denominación como Ostende con el objeto de simplificar la comprensión del texto.

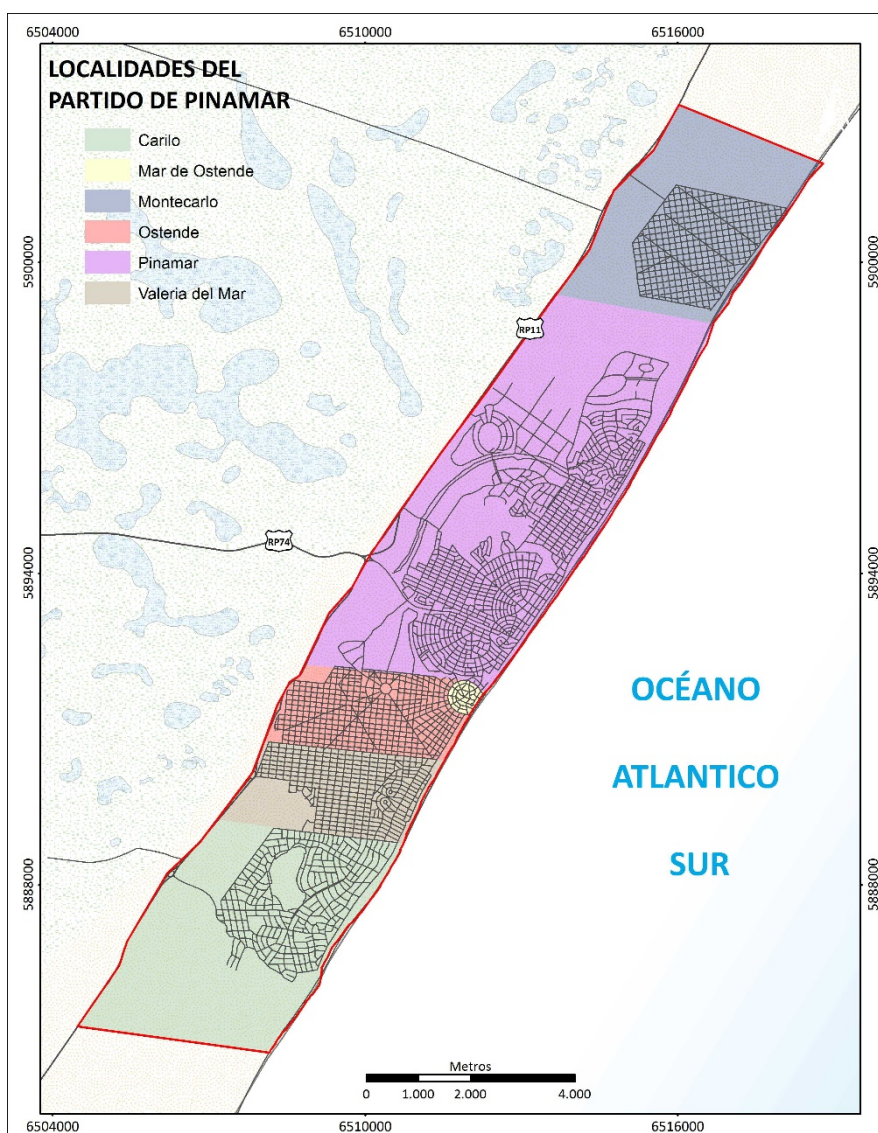


Figura 3.1 Área de estudio. Límites del Partido de Pinamar y sus localidades.



Se trata de un polígono de forma rectangular con su eje mayor ubicado en dirección sudoeste - noreste, y que limita al oeste con el Partido de General Juan de Madariaga, al norte con el Partido de La Costa, al sur con el de Villa Gesell, y al este con el Mar Argentino.

El área de estudio corresponde desde un punto de vista hidrogeológico a la región "costera" (Gonzalez, 2005) la cual posee una longitud de 640 km y se extiende en forma casi ininterrumpida desde Punta Rasa (Cabo San Antonio) hasta Santa Clara del Mar y desde Chapadmalal hasta Punta Alta (Bahía Blanca).

3.2 RESEÑA HISTÓRICA DEL PARTIDO DE PINAMAR

El Partido de Pinamar fue creado oficialmente el 1º de Julio de 1978, aunque ya antes había sido inaugurado como localidad balnearia el 14 de febrero de 1943.

Pinamar se encuentra emplazada en lo que a principios del siglo XIX se llamaba "Montes Grandes de Juancho", veintiocho leguas que pertenecieron a Don Jose Suárez. Estos campos fueron del General Félix de Álzaga, quien los recibió de Juan Manuel de Rosas. Cuando el General muere estos campos son heredados por Martín de Álzaga, quien posteriormente se casaría con Felicitas Guerrero. En 1870 Felicitas muere de manera trágica en lo que, de acuerdo a varios historiadores fue, un crimen pasional. Al carecer de descendencia, las tierras pasan a ser propiedad de su padre el Señor Carlos Guerrero, y a la muerte de este y de su esposa heredan estos campos los siete hijos quienes se reparten las tierras.

De esta subdivisión, los veinticinco kilómetros de playas y médanos costeros quedan fraccionados en cuatro estancias, propiedad de Manuel y Enrique Guerrero.

El 12 de Noviembre de 1907 Enrique Guerrero es designado por el Gobierno de la Provincia de Buenos Aires como Comisionado Municipal para el pueblo "Divisadero", tiempo más tarde el mismo gobierno declara a este pueblo cabecera del "Partido del Tuyú" (Figura 3.2A).

Tiempo después ya en el 1908, los belgas Fernando Robette y Agustín Poli llegan a estas tierras con la idea de instalar un balneario en la costa, con características similares al de su lugar natal "Ostende". En 1910 se modificó el nombre del Partido de Tuyú por el de "Juan Madariaga" y en 1913 una empresa francesa compra a Enrique Guerrero las dunas del norte, donde se traza el Balneario Atlántico, hoy denominado Montecarlo, el cual nunca llegó a funcionar como centro turístico.

En el 1918 Doña Valeria Cardenas Russo, con la ayuda del Arquitecto Jorge Bunge, decide forestar parte de sus campos sobre la costa. Un año después ambos firman un convenio, en el cual Bunge paga la cantidad de \$ 41.000 pesos moneda nacional por 2.684 hectáreas y se estipula que tendría la mayoría de las acciones en tanto que la Sra. de Guerrero recuperaría las dunas en el caso de que la obra fracasara.



Por esos mismos tiempos Don Héctor Manuel Guerrero propone hacer un bosque sobre los médanos, crea un vivero en el partido de Gral. Madariaga y comienza a plantar árboles a 4 km del mar. Hacia fines de 1926 y después de luchar durante años logra su sueño de llegar a las dunas y recién en 1930 arriba con su corredor de árboles a la playa. Allí instala una casa prefabricada, y comienza a fijar franjas cada vez más anchas en sus dunas.

Bunge, quien había sido formado en Alemania en los campos de la Arquitectura, Ingeniería y Urbanismo, hacia fines de los años 30 pensó en fijar las dunas, forestarlas y urbanizarlas. Dio forma a su proyecto con una empresa denominada Pinamar S.A. junto con la señorita Guerrero. A ellos se sumó un grupo de personas, entre los que había hombres de campo, industriales y profesionales quienes compartían la misma visión.

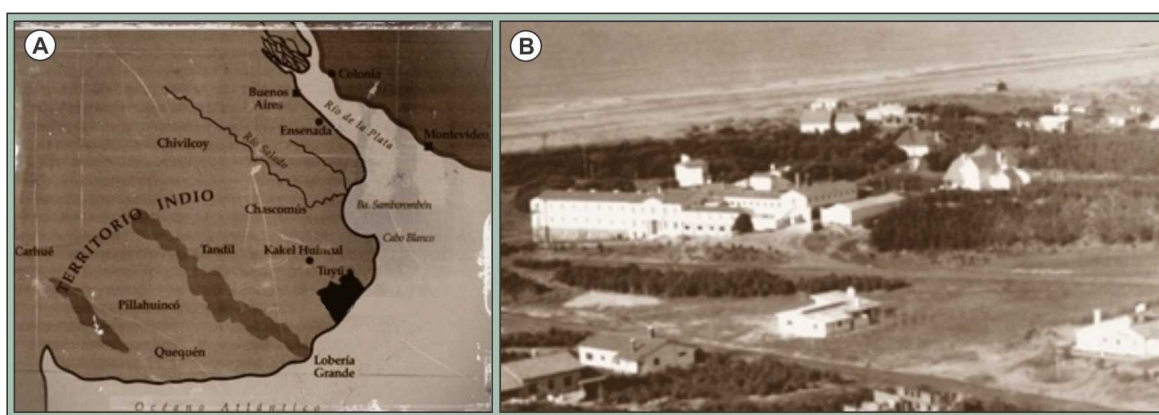


Figura 3.2. Ubicación del Partido del Tuyú (A) y fotografía aérea del Hotel Pinamar, hoy conocido como "Hotel Playas" (B).

En 1940 se iniciaron los estudios y pruebas previas, así como las construcciones básicas para brindar infraestructura al proyecto y en 1942 queda jurídicamente constituida la sociedad entre el Arq. Bunge y la Sra. Valeria Guerrero Cárdenas de Russo. Ese mismo año se construye un pequeño hotel al que denominaron "Pinamar" el cual posteriormente fue ampliado y hoy es conocido como "Playas Hotel" y se ubica sobre la Av. Bunge.

El 14 de febrero de 1943 Pinamar se inaugura como localidad balnearia y al año siguiente, el Poder Ejecutivo Provincial aprueba el Plan Director, creación del Arquitecto Jorge Bunge, el cual fue la guía para construir y urbanizar, respetando la topografía.

En 1945, se vendieron los primeros lotes y comenzó la construcción de un núcleo de viviendas permanentes y de casas para veraneo. En esos años se inauguraron la primera cancha de golf, la Escuela, la sala de primeros auxilios, la Iglesia Nuestra Señora de la Paz, la Cooperativa de Agua y Luz (CALP), el teléfono público, el correo y el muelle primitivo. También se comienzan a radicar en Pinamar grupos de familias de inmigrantes italianos que llegan al país al finalizar la segunda guerra mundial.



Surgen el Club de Pesca, la Sociedad de Fomento, la Comisión Pro-Templo, etc. Además Pinamar S.A. dona las tierras para la construcción de la Escuela Primaria, que funcionaba en la administración de dicha firma y para Salud Pública. También se donaron fracciones de tierra para la construcción de la sala de primeros auxilios, el centro cívico, el destacamento de policía, la estación de meteorología y la iglesia.

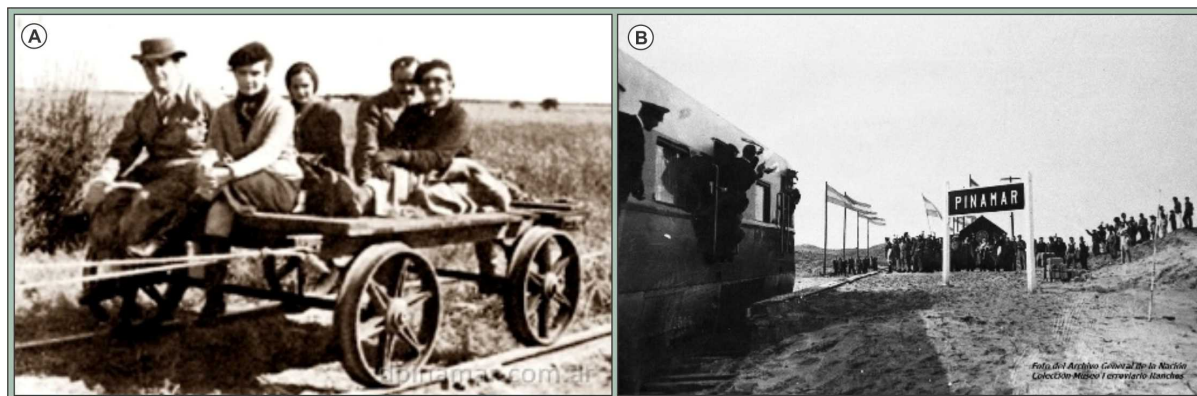


Figura 3.3 Jorge y Cecilia Bunge y Valeria Guerrero en una recorrida por los terrenos a forestar (A) e inauguración de la estación de ferrocarril "Pinamar" (B).

Mientras tanto, hacia 1947, Doña Valeria Guerrero Cárdenas de Russo, viendo que probablemente los reclamos de sus derechos como participante del convenio firmado con el Arq. Bunge en la creación de Pinamar no serían atendidos, decide crear su propio balneario en las tierras que aún le quedaban sobre el litoral marítimo, lo que actualmente es Valeria del Mar.

El 13 de agosto de 1961 muere Don Jorge Bunge, quien aplicando conocimientos de urbanismo adelantados para aquella época, genera lo que hoy es el ejido de la localidad de Pinamar, mientras que en 1976 se concluye el tramo de la RP N° 74 conectando las ciudades de Madariaga y Pinamar.

El 1° de julio de 1978, por Ley N° 9.024 de la Provincia de Buenos Aires, se crea el "Municipio Urbano de Pinamar". A partir de esa fecha, las localidades de Montecarlo, Pinamar, Mar de Ostende, Ostende, Pinamar actual Valeria del Mar y Cariló forman el Municipio de Pinamar, y conforman un centro productor de servicios relacionados directa o indirectamente con la actividad turística.

La localidad de Pinamar pasa a ser cabecera del Partido y con fecha 23 de mayo de 1983, por Ley N° 9.949 se sustituye la denominación de "Municipio Urbano de Pinamar" por la de "Partido de Pinamar".

En 1985, por Ley N° 10.365 Pinamar fue declarada ciudad y el 7 de diciembre de 1996 se reinaugura el servicio de trenes a Pinamar, el cual había sido suspendido en 1968 por su baja rentabilidad.

SERVICIOS PÚBLICOS



En 1948 se comienzan a realizar reuniones periódicas para considerar los proyectos de explotación de los servicios públicos. Por decreto G-6-926 de 1948 la CALP obtiene la inscripción en la Dirección de Personas Jurídicas, por el cual se posibilita la compra de la red de agua de Pinamar, comenzando a actuar a partir de enero de 1949.

En 1972 el Consejo de Administración resuelve iniciar una primera etapa de la red cloacal proyectada años atrás y el 29 de diciembre de ese mismo año se da por iniciado el Servicio Sanitario. Para esos años la Cooperativa tenía 2290 asociados, 2074 se encontraban conectados a los servicios de Energía Eléctrica, 1034 al Agua Corriente y 277 al Servicio Cloacal.

Hoy en día y luego de 43 años la Cooperativa sigue siendo la encargada de brindar los servicios de agua potable a un total de 24.800 conexiones y de red cloacal a otros 13.500 domicilios.

3.3 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA REGIONAL

El clima de la región, de acuerdo a la clasificación Thornwaite (1948), es **B2 B'2 r a'**. Donde **B2** es moderadamente húmedo, **B'2** es mesotermal templado frío, **r** representa un nulo a pequeño déficit de agua, y **a'** una concentración estival de la eficiencia térmica menor del 48 %.

La precipitación media anual es del orden de 900 mm. En el período 1951-1980, el valor de 902,7 mm/año en Pinamar, es levemente superior al Mar del Plata (898,5mm/año) y algo más bajo que el de Dolores (914,2 mm/año) (Tabla 3.1). La distribución mensual es relativamente uniforme a lo largo del año con una media de 76 mm/mes con un leve incremento durante los meses más calurosos. El valor mensual mínimo medio es 48,3 mm para junio en Pinamar, mientras que el máximo se registró en Mar del Plata Aero con 103,6 mm durante marzo. En las figuras 3.4, 3.5 y 3.6 se muestra la distribución mensual de las precipitaciones para las 3 estaciones consideradas.

Estación	P. Mensual Mínima Media (mm)	P. Mensual Máxima Media (mm)	P. Media Anual (mm)	Serie utilizada
Pinamar	48,3	98,3	902,7	1951-1980
Mar del Plata Aero	58,1	103,6	898,5	1951-1976
Dolores Aero	52,9	99,8	914,2	1951-1980

Tabla 3.1 Valores de precipitación máximos y mínimos medios mensuales y anuales.

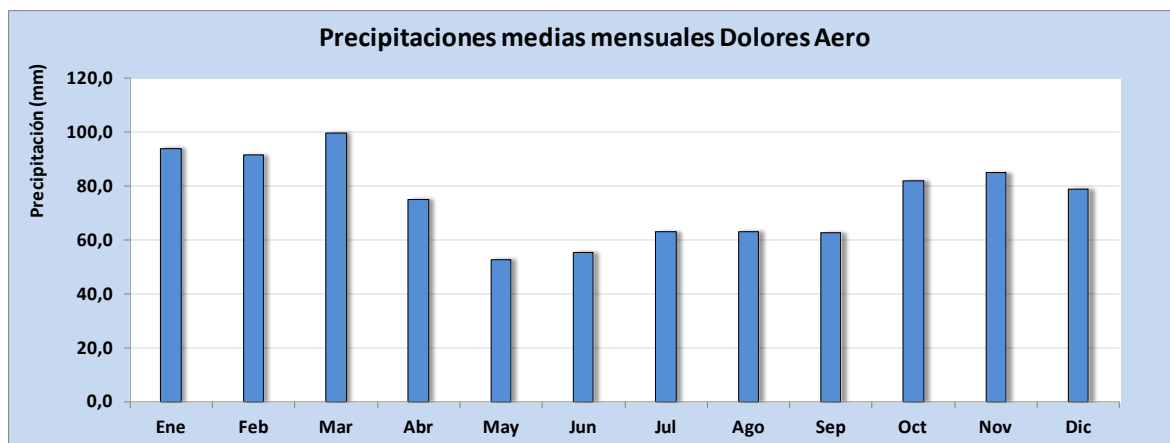


Figura 3.4 Precipitaciones medias mensuales registradas en la estación Dolores Aero (Período 1951-1980).

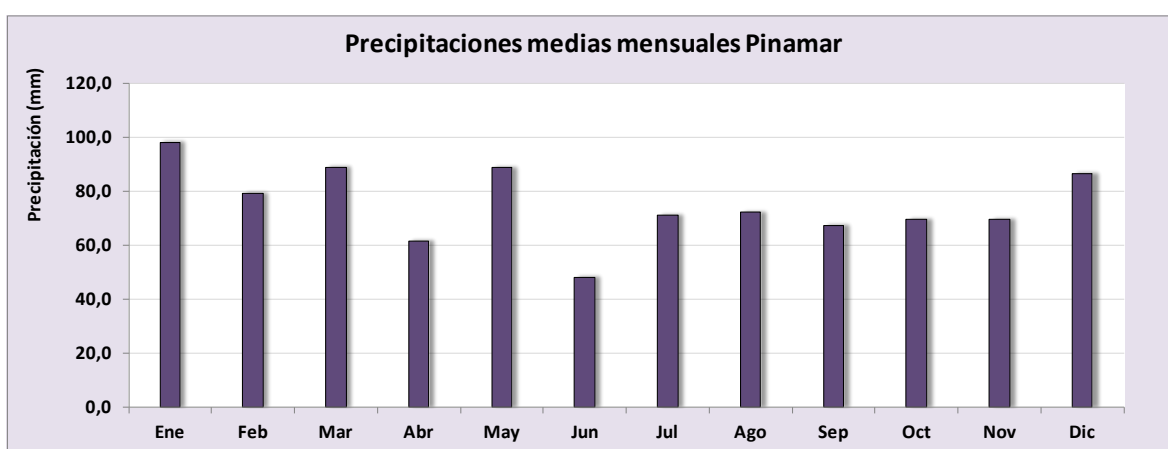


Figura 3.5 Precipitaciones medias mensuales registradas en la estación Pinamar (Período 1951-1976).

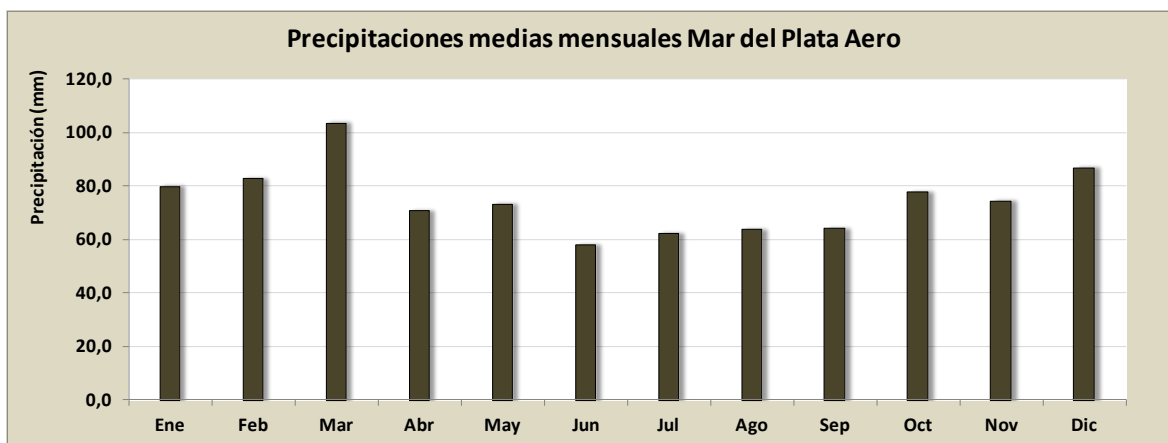


Figura 3.6 Precipitaciones medias mensuales registradas en la estación Mar del Plata Aero (Período 1951-1980).

Con respecto al comportamiento anual de las temperaturas la diferencia térmica entre el mes más cálido y el mes más frío es de aproximadamente 14 °C. El valor medio anual es de 14,5 °C, en tanto que los máximos y mínimos medios mensuales registrados fueron de 22,1 °C en Mar del Plata Aero y de 8,3 °C en Dolores Aero durante los meses de enero y julio respectivamente (Figuras 3.7, 3.8 y 3.9).

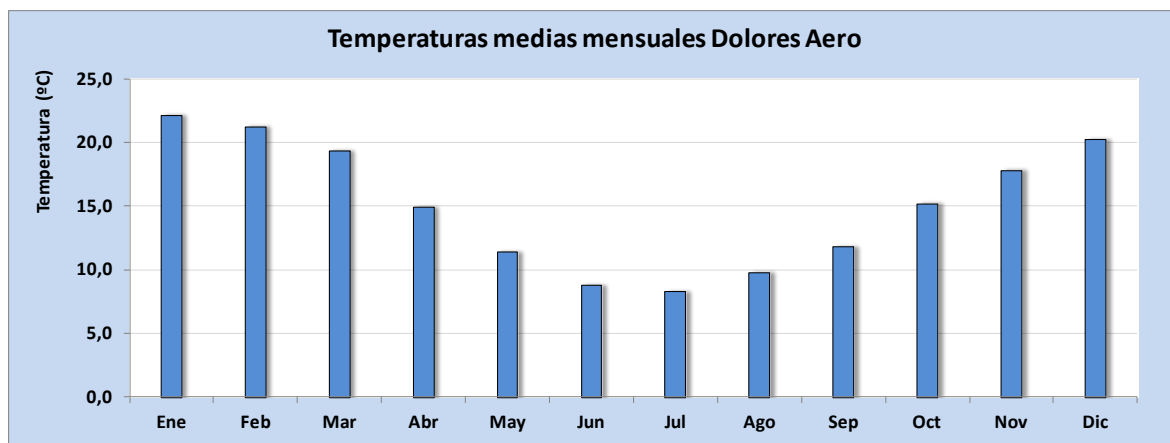


Figura 3.7 Temperaturas medias mensuales para Dolores Aero (Período 1951-1980).

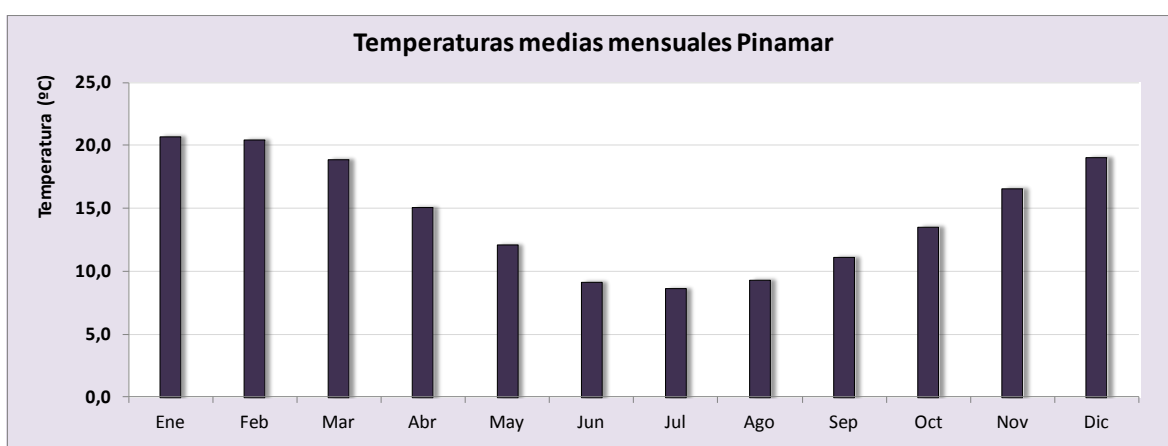


Figura 3.8 Temperaturas medias mensuales para Pinamar (Período 1951-1976).

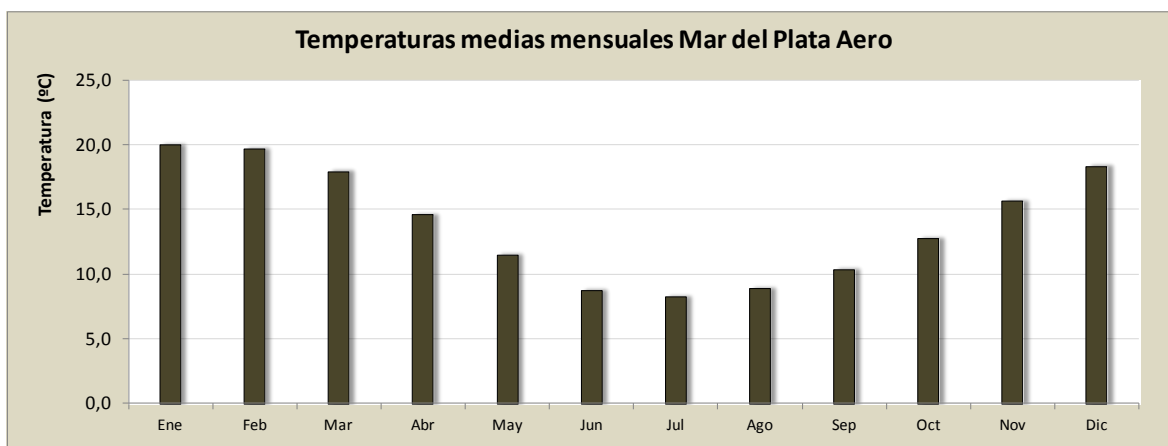


Figura 3.9 Temperaturas medias mensuales para Mar del Plata Aero (Período 1951-1980).

A partir del balance hidrológico regional (Figura 3.10) se advierte que el valor anual de las precipitaciones (901,8 mm) supera a la evapotranspiración real (Thornthwaite, 1948) la cual alcanza los 743,8 mm. El exceso anual de agua es de 158 mm el cual se produce durante los meses de junio a octubre, con un valor máximo de 44,2 mm en julio.

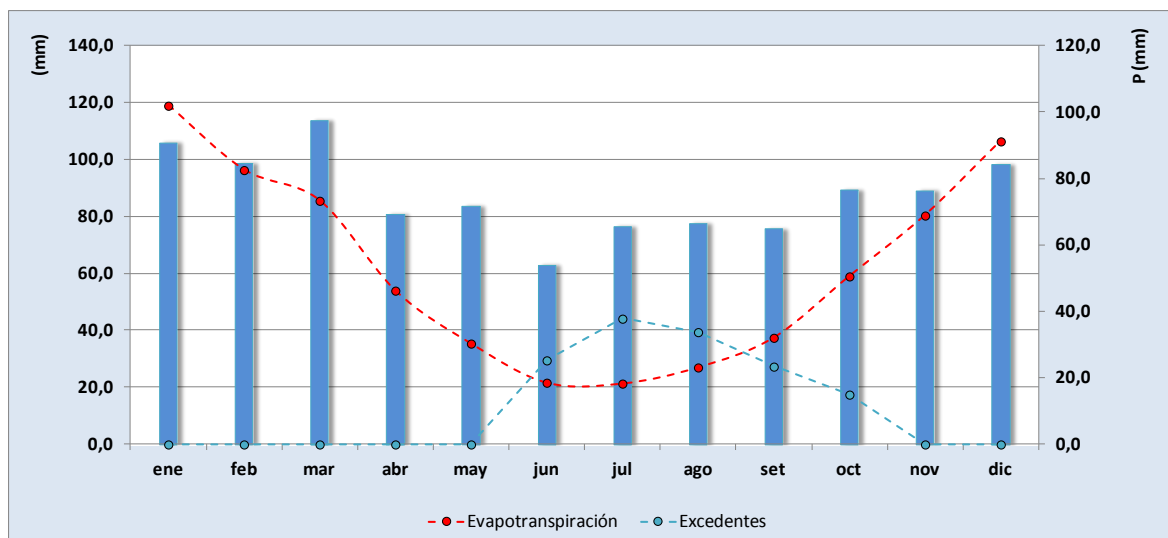


Figura 3.10 Resultados del balance hídrico regional.

3.4 CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA

En la región oriental de la Provincia de Buenos Aires (Figura 3.11) se diferencian cuatro grandes regiones morfológicas conocidas como Llanura Marginal, Terraza Alta, Cuenca Interior Sur y Llanura deprimida. Dentro de estas es posible diferenciar formas menores o geoformas las cuales han sido originadas por un procesos geológicos particulares ambientes específicos.

El área de estudio se erige entre la Llanura deprimida y el océano atlántico y corresponde al sector que geológicamente es conocido como Cordón Costero (Parker y Violante, 1989).

El Cordón Costero, que es el ambiente dominante en el área de estudio, se extiende en forma ininterrumpida desde Punta Rasa hasta la desembocadura de la laguna de Mar Chiquita alcanzando desde 2 hasta 4 km de ancho. Presenta su mejor expresión y desarrollo en el área situada entre Villa Gesell y Punta Médanos, donde se ubica Pinamar, y disminuye paulatinamente hacia el norte y sur hasta desaparecer.

Este cordón costero es una unidad arenosa que se compone de dos subunidades menores comúnmente denominadas como Playa y Médanos. (Figura 3.12)

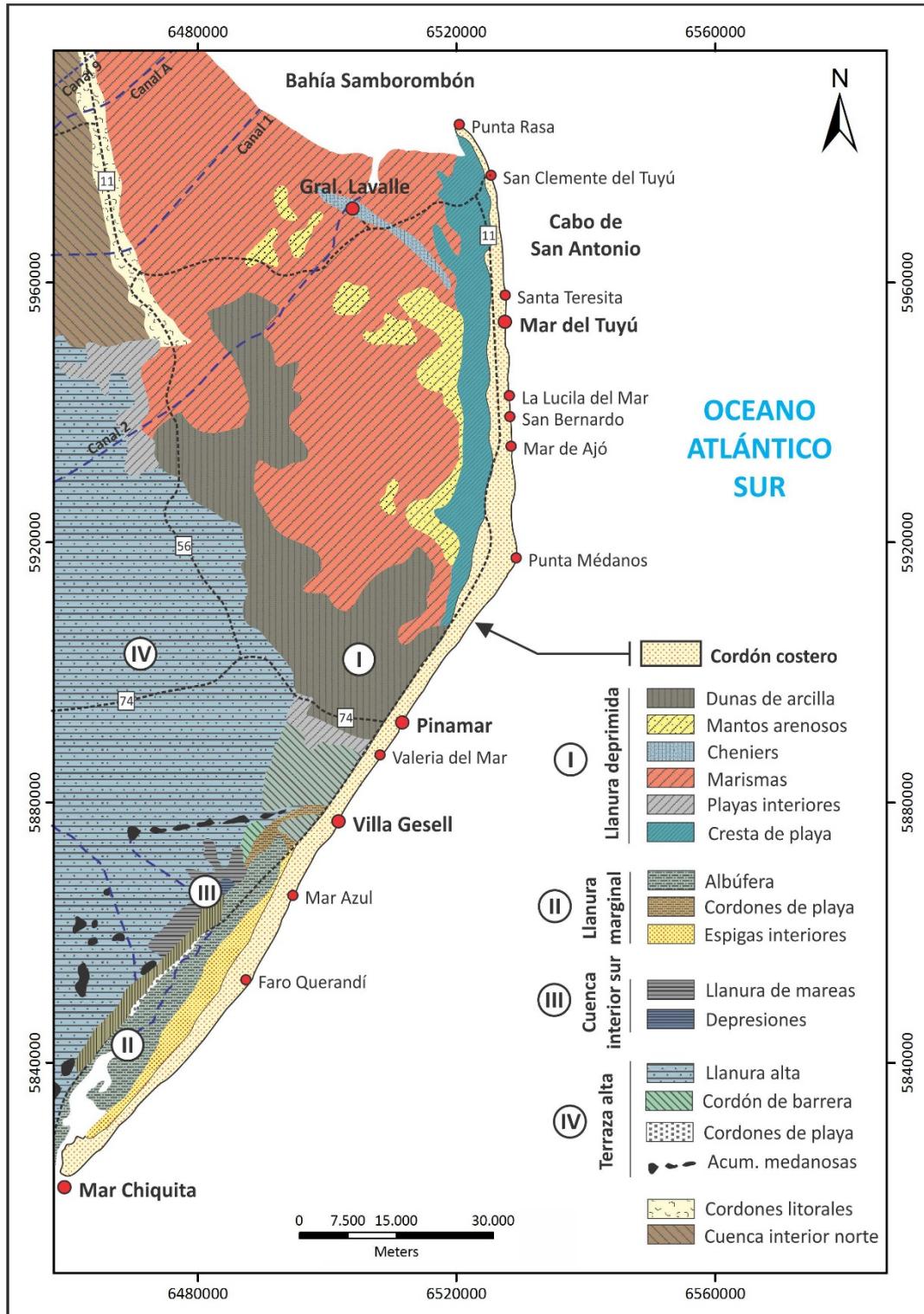


Figura 3.11 Mapa geomorfológico regional (Modificado de Violante y Parker 1989).

Las playas son rectilíneas y tienen un ancho que oscila entre los 50 y los 150 m. Presentan pendientes suaves cubiertas en su mayor parte por arenas finas a medianas y excepcionalmente gruesas. Estas playas pertenecen por sus características al tipo de costa de construcción (sin barranca y con playa arenosa), como las clasificara Teruggi (1959).

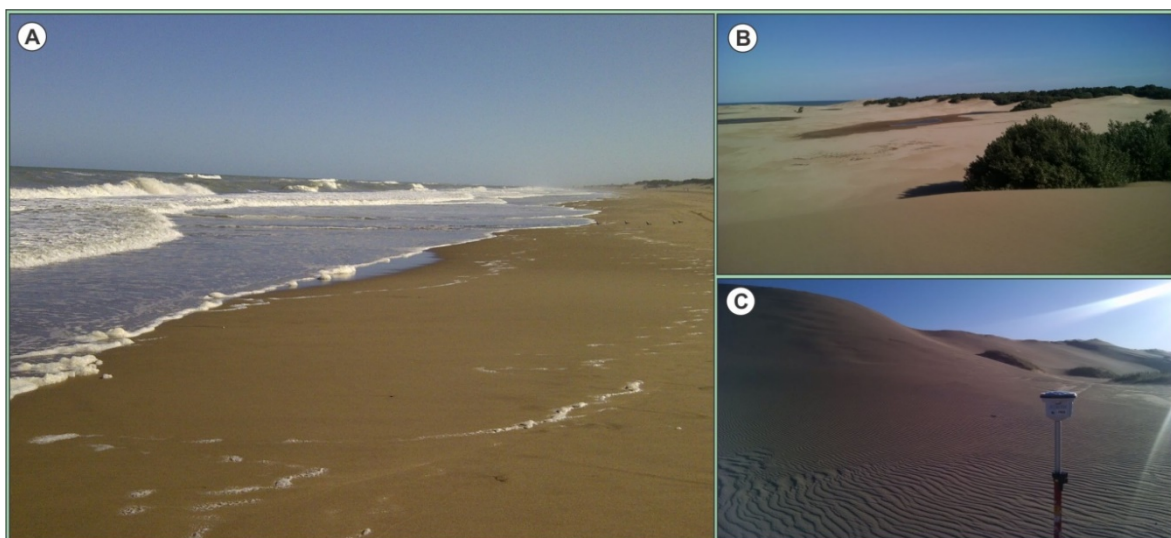


Figura 3.12 Unidades de Playa (A) y Médanos (B y C).

Los médanos situados entre el Cabo San Antonio y Punta Médanos son en general bajos, mientras que desde Punta Médanos a Mar Chiquita forman una cadena de médanos vivos de mayor amplitud y altura llegando alcanzar los 35 a 40msnm.

En cuanto a la morfología de los médanos, no se identifican formas perfectamente definidas, situación que se dificulta más aún cuando estos se encuentran fijados por vegetación. En este sentido Spalleti y Mazzoni (1979) afirman que los médanos del área son del tipo compuesto - piramidal, y que si bien se forman a expensas del material de playa estos no adoptan formas lineales a causa de la variabilidad del sentido y dirección de los vientos dominantes. Así mismo Violante (1988) describe dunas transversales, barjanes, crestas barjanoides, dunas parabólicas y dunas en matas cuya asociación se vincula con áreas azotadas por vientos oceánicos (Fryberger 1979). De igual modo Isla (1995) también describe las geoformas anteriormente mencionadas a lo que añade los médanos en forma de estrella.

Existen discrepancias acerca del origen del material que compone las actuales playas. Teruggi (1959) pone de manifiesto la multiprocedencia de los sedimentos, y afirma que las arenas derivan esencialmente de los terrenos Pliocenos, Pleistocenos y Holocenos que constituyen la mayor parte de los terrenos de la Provincia de Buenos Aires. Asimismo también sugiere que parte de los componentes clásticos podrían provenir del ámbito patagónico, primero por remoción fluvial y luego por deriva litoral desde las costas australes en dirección hacia el norte. En este mismo sentido Mazzoni (1977) considera, en base al análisis de minerales pesados, que la zona de aporte estaría ubicada cerca de la desembocadura del Río Negro, no obstante el mismo autor no descarta zonas de aporte próximas a las barrancas de Mar del Plata.

En contraposición a lo anteriormente afirmado, según Tricart (1973) los depósitos no tendrían su origen a partir de la erosión de los acantilados marplatenses o de algún sector situado al sur de la Provincia de Buenos



Aires. Se basa en el hecho que, por una parte, existe una desproporción muy marcada entre los balances de erosión y acumulación entre ambos sitios, y que, además, si estos sedimentos provendrían desde el sur, la actual desembocadura de la Albufera de Mar Chiquita debería estar cerrada o bien su desembocadura debería estar orientada hacia el NE y no hacia el SE donde se encuentra actualmente. De este modo, el origen de estos depósitos parecería estar situado en los fondos marinos adyacentes y habría sido empujado hacia la costa actual durante los eventos transgresivos.

De acuerdo a Schmidt y Lanfredi (1979) el volumen de arena movilizado al sur de Punta Médanos es de $70 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$ hacia el continente y de $35 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$ hacia el mar lo que indica un balance positivo hacia la tierra de $35 \text{ m}^3/\text{año}$. Esta situación se repite hacia el norte de Punta Médanos pero con una menor magnitud, esto se debe al ángulo de incidencia de los vientos, los cuales provienen mayormente del sector sureste generando un mayor transporte hacia el continente al sur de Punta Médanos y a lo largo de la playa en el sector norte.

Así mismo la capacidad de transporte total de arena por efecto del viento en el área es del orden de los $150.000 \text{ m}^3/\text{año}$ de los cuales solo un 35% vuelve al mar incorporándose a la deriva litoral, lo cual indica una pérdida de arena en la unidad de playa (Schmidt y Lanfredi, op cit.).

La Plataforma Submarina está compuesta por el Frente de Costa y la Plataforma (Parker y Violante, 1989). En el sector ubicado al sur de Punta Médanos, que incluye a la zona en estudio, presenta un perfil ondulado y su pendiente regional está orientada hacia el sureste y cubierta por arenas.

En cuanto a la dinámica costera el régimen de mareas es del tipo micromareal ($< 2 \text{ m}$) con desigualdades diurnas mientras que la deriva litoral se produce en general de sur a norte. En el caso particular de Pinamar se observan olas con alturas promedio de $0,89 \text{ m}$ y máximas de $1,9 \text{ metros}$, mientras que el período es del orden de los $8,7 \text{ segundos}$ y la potencia promedio de oleaje es de $4,2 \text{ kw/m}$ con un máximo de $18,5 \text{ kw/m}$ (Isla y Bértola, 2005).

3.5 SUELOS

La información de suelos corresponde principalmente a los estudios realizados por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en diversas escalas ($1:1.000.000$; $1:250.000$ y $1:50.000$). En las Cartas de Suelos $1: 50.000$ están representadas las Unidades Cartográficas las cuales se encuentran delineadas sobre mosaicos aerofotográficos rectificadas (1967-68), acompañados por textos que proporcionan datos sobre la localización, extensión y posición topográfica relativa de las unidades cartográficas de suelos, las principales características del perfil, los limitantes y su capacidad de uso a nivel de semidetalle.



De acuerdo al mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires (INTA, 1989) el área de estudio se encuentra dentro del dominio edáfico N° 27 (Figura 3.13) el cual se extiende en forma de un cordón paralelo a la costa desde San Clemente del Tuyú hasta la laguna de Mar Chiquita y desde Miramar hasta Punta Alta; llegando hasta la costa marina del partido de Patagones. Los sedimentos originarios de los suelos son arenas de playas marinas, mientras que el paisaje consiste en colonias de dunas costeras. El desarrollo de los suelos depende en gran parte de la estabilidad que presentan las acumulaciones arenosas. Los suelos de la región se dividen en Cuarzipsamientos y Torripsamientos típicos ubicados en las partes más activas, desprovistos de vegetación, mientras que los Haplustoles énticos y arídicos y hapludoles énticos, se encuentran en los sectores más planos y con mayor cobertura vegetal.

De acuerdo a las cartas de suelos INTA "Pinamar" y "Villa Gesell" a escala 1:50.000, los suelos presentes en el Partido de Pinamar corresponden a las unidades cartográficas "PM" y "PM3" (Punta Médanos) pertenecientes al orden de los Entisoles, suborden Psamente, Gran Grupo Udipsamente, subgrupo Típico. La diferencia entre estas dos radica en la presencia, o no, de vegetación fijadora. Se tratan de suelos arenosos con escaso desarrollo y donde el déficit hídrico no supera los tres meses al año.

Su capacidad de uso es Viles, lo cual se asocia con problemas vinculados a la erosión condicionando su uso para la actividad productiva. El alto contenido de arena es el responsable de una serie de limitaciones como ser la baja capacidad de retención de agua; el bajo contenido de materia orgánica; la baja capacidad de intercambio catiónico; la ausencia de estructura por falta de componentes que agreguen las partículas y por lo tanto una mayor susceptibilidad a la erosión eólica.

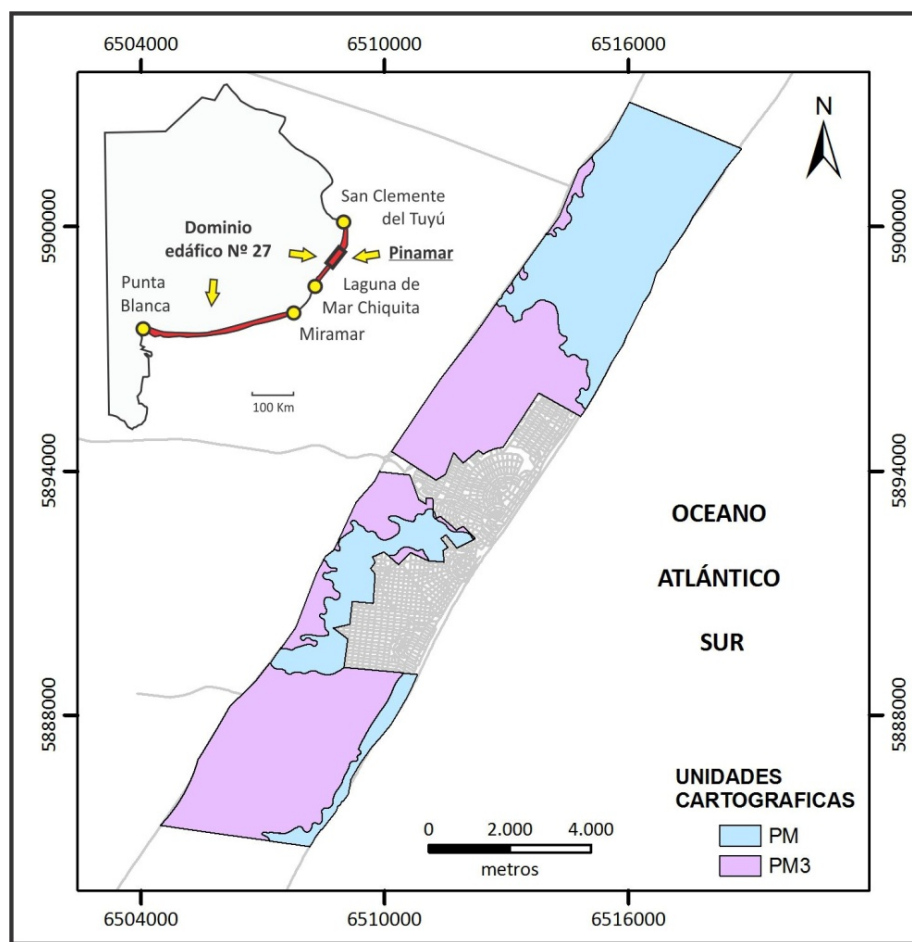


Figura 3.13 Mapa de unidades cartográficas (INTA, 1989).

3.6 GEOLOGÍA

3.6.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Regionalmente, el área de estudio se encuentra ubicada en el sector sur de la Provincia Geológica de la Cuenca del Salado. Se trata de una cubeta de depositación, de forma alargada, extendida desde el extremo norte de la Provincia de Buenos Aires en dirección sureste hasta penetrar en la Plataforma Continental Argentina al sureste de la bahía de Samborombón (Parker y Violante 1989). El desarrollo de la cuenca se vincula al control estructural generado por la fracturación extensional de antiguas zonas de debilidad generadas durante la apertura del Atlántico Sur en el Mesozoico tardío (Caminos, 1999) (Figura 3.14).

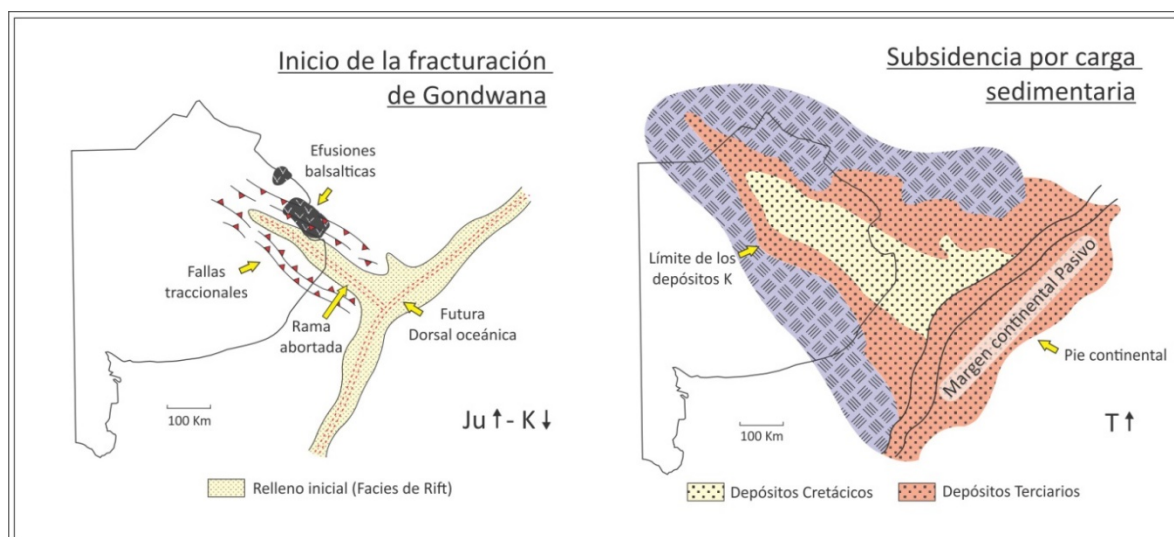


Figura 3.14 Cuenca aulacogénica del Salado (Modificado de Caminos 1999).

La región se caracteriza por la carencia de afloramientos anteriores al cuaternario, gran desarrollo vertical de sucesiones sedimentarias del Paleozoico inferior y superior, Mesozoico y Terciario, el carácter predominantemente continental de los sedimentos, la gran uniformidad estratigráfica y la evidencia de procesos erosivos asociados a movimientos de edad Triásica y más modernos que originaron la desaparición parcial de la secuencia paleozoica (Bracaccini, 1972).

La secuencia estratigráfica se inicia con un basamento ígneo-metamórfico pre-Mesozoico, seguido de un nivel de rocas efusivas básicas conocidas como basaltos Serra Geral de edad Jurásica superior a Cretácico inferior.

Por encima de estos se reconoce una sucesión de sedimentos clásticos continentales que, con potencias que pueden exceder los 6000 metros, corresponden al cretácico inferior. En su porción más externa presenta intercalaciones marinas (ambientes neríticos y costeros) de edad cretácica superior las cuales, a diferencia de los anteriores no se encuentran controlados por fallas, definiendo una sineclisa (Rolleri, 1975).

El relleno sedimentario, así como los escasos remanentes de actividad basáltica, tanto en el subsuelo de Pipinas, como costa afuera, fueron interpretados por Introcaso y Ramos (1984) como una cuenca aulacogénica, sobre la base de su anomalía gravimétrica de Bouguer positiva, su escasa actividad magmática, su relleno de sinrift Mesozoico, sus depósitos cenozoicos de hundimiento térmico y sus relaciones geométricas y temporales con el margen continental.

El Terciario inferior se caracteriza por la presencia de sedimentos continentales que pasan de forma transicional a marinos hacia al este. El Mioceno medio superior se caracterizó por la reactivación de fracturas de bloques con inmediata subsidencia, lo que dio lugar a una transgresión marina representada por la Fm Paraná ("Mioceno verde") de ambiente nerítico con espesores del orden de 800 m.



El Plio-Pleistoceno comprende una sucesión de sedimentos continentales y marinos que representan varios períodos de avance y retroceso del mar. Esta característica hace que la porción oriental de la cuenca, desarrollada por debajo del nivel del mar y en el ámbito de la plataforma continental pierda los rasgos individuales de cada uno de los eventos transgresivo-regresivos. Fidalgo et al. (1975) realizó una compilación de la estratigrafía para el ámbito de la Provincia de Buenos Aires en donde todo el conjunto es conocido genéricamente como "Pampeano" o "Pampiano".

Esta última secuencia conforma el sustrato sobre el cual se encuentran depositados los sedimentos del Pleistoceno-Holoceno y es en ellos en donde se encuentra incluido el cordón costero, cuya evolución geológica adquiere significación en las posibilidades de almacenamiento de agua subterránea de baja salinidad.

3.6.2 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA PLEISTOCENA - HOLOCENA

Es de interés conocer el origen y los procesos sedimentarios que dieron origen a los depósitos Pleistocenos y Holocenos en donde se almacena el agua subterránea de interés en esta investigación. De este modo se pretende obtener un conocimiento más acabado acerca de la configuración del sistema subterráneo.

Las evidencias sobre los cambios del nivel del mar ocurridos durante el Cuaternario se encuentran en distintas partes del planeta. Durante el Último Interglacial (125.000 AP) el nivel del mar alcanzó un máximo global de +6 m sobre el nivel medio actual en distintas regiones (Barbados, Bahamas, Molokai en Hawaii y en la costa oriental de Sudamérica entre otras) (Lowe y Walker, 1997; Schnack et al. 2000).

En la Argentina existen registros de los eventos transgresivos del Pleistoceno y Holoceno los cuales son la respuesta a las variaciones en el volumen de agua contenida en los océanos, debido a los ciclos glaciales e interglaciales. Asimismo se descartan procesos tectónicos significativos en el desarrollo de los ambientes costeros durante los últimos 120000 años.

Numerosos han sido los estudios tendientes a describir la historia geológica del sector oriental de la Provincia de Buenos Aires. Ya desde el siglo XIX, Darwin, 1846; d'Orbigny, 1842; Ameghino, 1889 y 1908; Ihering 1907, Frenguelli (1946, 1950, 1957) realizaron los primeros aportes vinculados al reconocimiento de estos depósitos. Durante las transgresiones del Cuaternario, vastos sectores del litoral bonaerense se vieron afectados por los procesos de acumulación y erosión generados por las variaciones de las líneas de costa (Schnack et al., 2005).

La estratigrafía pleistocena y holocena en la llanura costera atlántica bonaerense presenta las complejidades propias del ambiente costero, donde la acción de los procesos litorales han modelado los terrenos preexistentes integrados por sedimentos marinos y continentales más antiguos producto de regresiones y transgresiones ocurridas a raíz de sucesivos eventos glacioeustáticos durante el Cuaternario.



Las evidencias de los eventos transgresivos han sido preservados en el registro estratigráfico y han recibido diversas denominaciones, algunas de ellas han sido Querandinense (Ameghino, 1889); Querandinense y Platense (Frenguelli, 1957); Samborombense (Groeber, 1961); Fm Destacamento Río Salado y Fm Las Escobas (Fidalgo et al., 1973); Formación Atalaya (Parker, 1991), Fm Las Escobas y Espinillo (Cavalloto, 1995); Fm Campana (Fucks y De Francesco, 2003), entre otras.

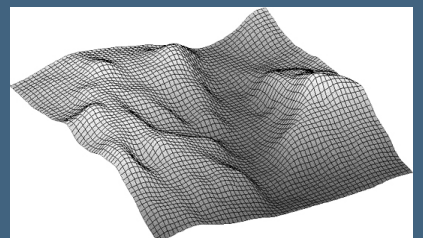
Estos eventos de avance y retroceso originaron depósitos representados por facies de marismas, estuarios, albuferas, dunas costeras y playas, incluyendo niveles de tormenta, estos últimos caracterizados por un alto contenidos de conchillas de moluscos (Schnack et al. 2005).

Hacia fines de la última glaciación (18000 AP) el nivel del mar global había descendido entre 120 y 150 m en coincidencia con el actual borde de plataforma continental (Fray y Ewing 1963; Parker et al. 1996), y grandes extensiones de terreno quedaron expuestas.

En el período de 18000 a 7000 años se produjo la mayor contribución de fusión de los hielos. En general, existe consenso sobre la culminación del aumento global del nivel del mar hace unos 7000 a 6000 años (Jelgersma y Tooley, 1995).

Durante los últimos 6000 años el registro de los niveles marinos estuvo dominado por procesos regionales y locales, por lo que las curvas de evolución del mar en el tiempo son a veces divergentes y variables (Jelgersma y Tooley, 1995). Por otra parte, trabajos realizados por Cavalloto (1995); Cavalloto et al. (2004); Isla y Espinosa (1998) y Spagnuolo (2005) coinciden en una curva descendente del nivel del mar ubicada inicialmente entre los 4 y 5 m y que habría estado en constante descenso durante los últimos 6000 años para toda la costa de la Provincia de Buenos Aires. Esta dinámica es la responsable de la configuración sedimentaria actual que tiene una influencia directa en el comportamiento del sistema hídrico subterráneo en la porción superior de la secuencia sedimentaria.

CAPÍTULO 4
CORDÓN COSTERO





CAPITULO 4 | CORDÓN COSTERO

4.1 RASGOS GEOMORFOLÓGICOS Y MODIFICACIONES ANTRÓPICAS

El rasgo geomorfológico más conspicuo lo constituye el cordón costero, cuyo mayor desarrollo sigue una orientación noreste sudoeste, dispuesto entre la llanura deprimida (oeste) y el mar argentino (este). Se trata de cuerpos arenosos de origen eólico que definen la interacción entre los procesos continentales y los marinos

La llanura deprimida (Figura 4.1) presenta un relieve llano y relativamente bajo con pendientes suaves. Los extremos topográficos se hallan entre los 6,2 y 2,7 msnm, en tanto que la cota media alcanza los 4,3 msnm en el área. Predomina un paisaje anegadizo con suelos principalmente arcillosos (Vertisoles).



Figura 4.1 Fotografías de la llanura deprimida. Partido de General Madariaga. Paisajes típicos (A, B y D) y perfil de suelo (C).

En esta llanura se reconoce la existencia de numerosas lagunas y bajos con agua superficial permanente o transitoria, entre ellos las más importantes reciben el nombre de laguna “El Rosario”, “Los Horcones”, “Los Leones” y más al noroeste el complejo lagunar “Salada Grande”.

Las diferentes tonalidades de azul observadas a partir de la combinación de las bandas 4-3-2 y 7-4-2 (Ver anexo) permiten inferir diferencias tanto en las profundidades y morfologías como en las composiciones de



las aguas que las conforman. El alto contraste observado en la combinación de los espectros infrarrojos (Bandas 4-5-3) posibilita evaluar el grado de conexión existente entre los distintos cuerpos de agua, que conforman una serie de complejos lagunares interconectados total o parcialmente en función de los excesos hídricos.

El cordón costero se desarrolla como una franja paralela al mar la cual posee un ancho variable desde los 2,7 Km en la localidad de Montecarlo al norte hasta los 3,7 Km Pinamar. De un modo general el límite oriental coincide con ruta interbalnearia (RP N°11) emplazada a cota de 5 msnm, no obstante y tal como se observa en las imágenes satelitales (Combinaciones 3-2-1 y 4-3-2) este borde excede los límites mencionados y el pase a la llanura deprimida se produce de un modo gradual a unos 300 m de la ruta.

En este cordón costero se reconoce en forma general una zona de playa y una de médanos. Las playas de Pinamar (Figura 4.2 a) presentan un ancho medio de 120 m. Se caracterizan por un perfil quebrado a partir del cual se puede diferenciar claramente la playa distal y frontal las cuales son separadas por una berma.

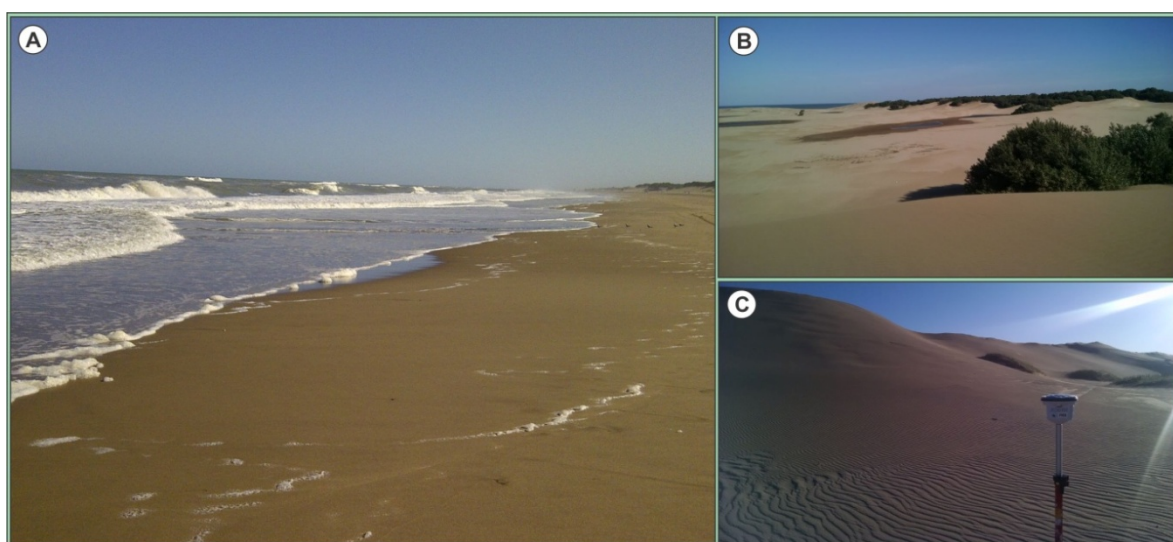


Figura 4.2 Unidades de Playa (A) y Médanos (B y C).

Datos estacionales revelan condiciones de acumulación dominantes en el verano y en menor medida en invierno, y de erosión en otoño y primavera, aunque el balance general sería positivo para la región (Violante, 1988).

Los médanos (Figura 4.2 B y C) se encuentran flanqueando por el oeste a la unidad playa. Esta geoforma presenta a nivel regional un relieve heterogéneo observándose en algunos casos lomadas suaves y alargadas, mientras que en otros los desniveles medidos en distancias relativamente cortas alcanzan los 6 a 10 m generando depresiones a nivel local (Blowout). Hacia el norte del partido entre las localidades de Pinamar y Montecarlo se desarrolla una cadena de dunas que por sus características particulares son descriptas en forma separada.



Los suelos típicos de la zona son los entisoles (Figura 4.3) caracterizados por un escaso desarrollo pedológico desarrollado en un espesor menor a los de 40 cm y por la presencia de un horizonte "A" del tipo hístico en donde los restos leñosos provienen en gran parte de la vegetación arbórea exótica (Coníferas).

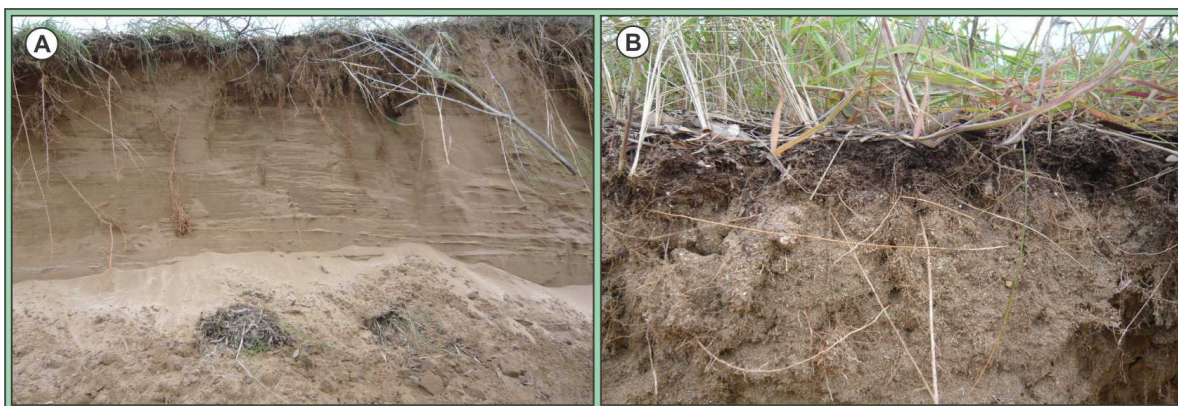


Figura 4.3 Corte (A) y detalle (B) de suelo desarrollado en cordón costero

Los relevamientos topográficos permitieron la elaboración de un mapa morfológico regional (Figura 4.4) a partir del cual se verifica un perfil topográfico transversal convexo con una leve asimetría manifestada a partir del desplazamiento del eje de máximas alturas del cordón hacia el oeste. De este modo la pendiente oriental se desarrolla de forma menos abrupta que la occidental. La cota media obtenida para el cordón fue de 9,8 msnm con extremos que se hallan entre los 2,9 y los 15,8 msnm.

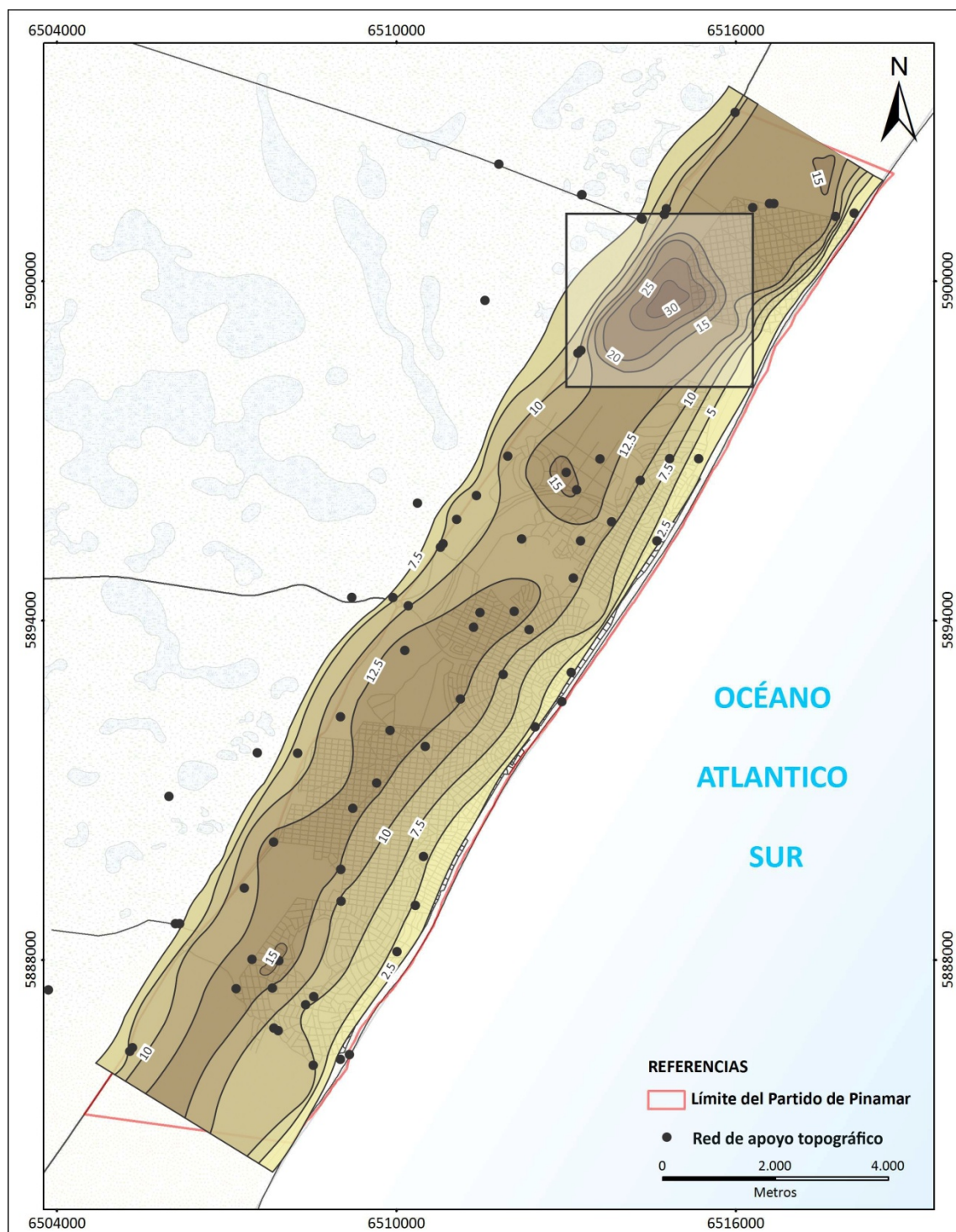


Figura 4.4 Mapa topográfico regional para el partido de Pinamar. (El recuadro blanco indica el sector de dunas relevada con mayor detalle que se muestra en la figura 4.5)

Hacia el norte del partido se advierte la existencia de un conjunto de altos topográficos vinculados al desarrollo de una cadena de dunas sin vegetación la cual abarca un área aproximada de 2,8 Km² (Figuras 4.5, 4.6 y 4.7). En este sector es posible reconocer dunas transversales, barjanes, barjanoides e incluso dunas impedidas en los casos que se encuentran fijadas por la vegetación (Figura 4.6).



Las dunas en el sector oriental se desarrollan en forma perpendicular a línea de costa permitiendo deducir la orientación sudoeste-noreste de los vientos predominantes (Figura 4.6). Estas geoformas tienden a perder su identidad al acercarse al mar, apreciándose una disminución en las alturas y en las formas características anteriormente mencionadas acompañadas por una leve desviación en el rumbo de los ejes de las cadenas de dunas pasando de rumbos oeste-este a noroeste-sudeste.

Los relevamientos topográficos de detalle realizados (Figura 4.8) permitieron diferenciar tres cadenas de dunas principales cuyas máximas cotas de norte a sur son de 36,2, 38,1 y 28 msnm (Figura 4.6). Las diferencias de altura entre las crestas y las zonas de interdunas alcanzan los 22 m. En estas zonas, en los períodos relativamente húmedos se forman cuerpos lagunares de escaso espesor evidenciando, al menos en forma temporal, el ascenso del nivel freático (Figura 4.8).

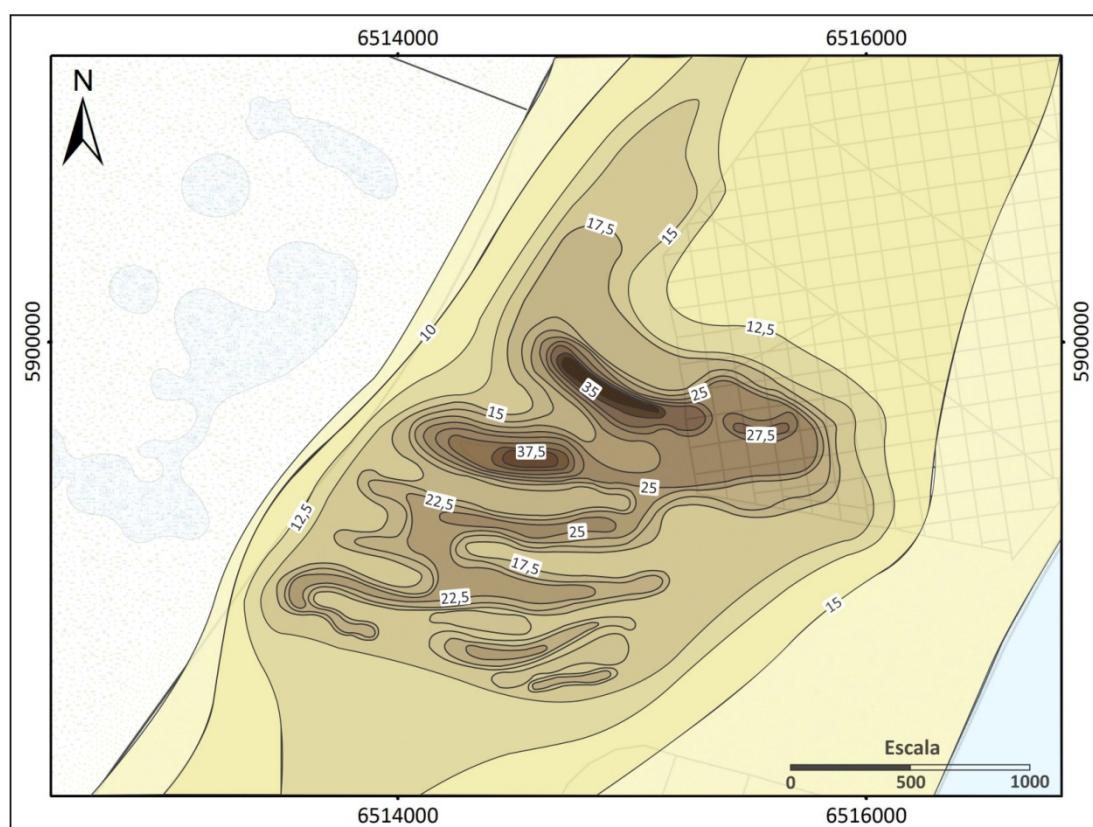


Figura 4.5 Mapa topográfico. Detalle topográfico del sector de dunas.

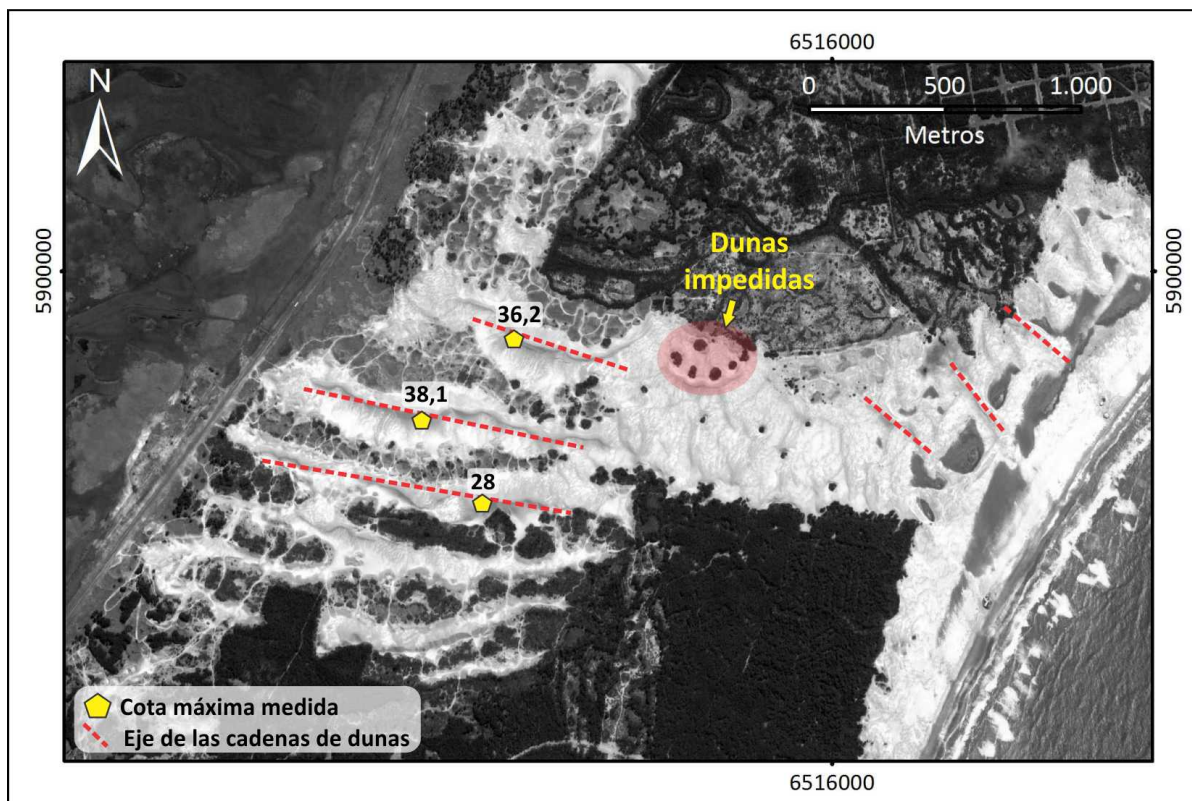


Figura 4.6 Detalle del campo de dunas al norte del Partido de Pinamar.



Figura 4.7 Fotografías tomadas durante el relevamiento con GPS diferencial en el sector de dunas al norte de Pinamar.



Figura 4.8 Cuerpos lagunares producto formados producto del ascenso del nivel freático en las zonas de interdunas entre Pinamar norte y Montecarlo. (Fecha 22/09/2014)

Estas geoformas encuentran su origen a escasos metros de la ruta y penetran dentro del cordón hasta una distancia de 2000 m en donde comienzan a desdibujarse o bien se transforman en dunas impedidas o forman mantos de arena que continúan hasta transformarse en dunas lineales con alturas máximas de 8 m aproximadamente.

Los relevamientos de campo permitieron verificar la dinámica de estas dunas caracterizada por el movimiento de grandes cantidades de arena la cual es movilizada principalmente mediante el proceso de saltación. La geometría de estos cuerpos se caracteriza por caras de barlovento extendidas y orientadas hacia el sureste en tanto que el sotavento se manifiesta con un alto ángulo llegando a alcanzar la verticalidad en algunos casos.

En algunos sectores del partido la topografía del terreno ha sido intensamente modificada por el crecimiento del desarrollo urbano incluso más allá de la ruta interbalnearia, mientras que en otros solo han quedado los vestigios del relieve original.

El Partido de Pinamar, se encuentra emplazado en su totalidad sobre el cordón costero cuya composición predominante es la de una arena fina a mediana de buena permeabilidad y donde no se distinguen rasgos de erosión hídrica.



El paisaje regional ha estado sometido a sucesivas intervenciones antrópicas durante los últimos 100 años (Figura 4.9). En este sentido dichas actividades han generado progresivas y constantes modificaciones en cuanto a la configuración que se reconoce en superficie.

Algunas de las transformaciones más antiguas datan de principios del siglo XX cuando fue necesaria la alteración de la topografía natural para el emplazamiento de las vías terrestres de comunicación (Vías férreas y las RP N° 74 y N° 11). Asimismo la progresiva fijación de los médanos a partir de la introducción de especies exóticas de todo el mundo ha sido una práctica constante durante los últimos 80 años.

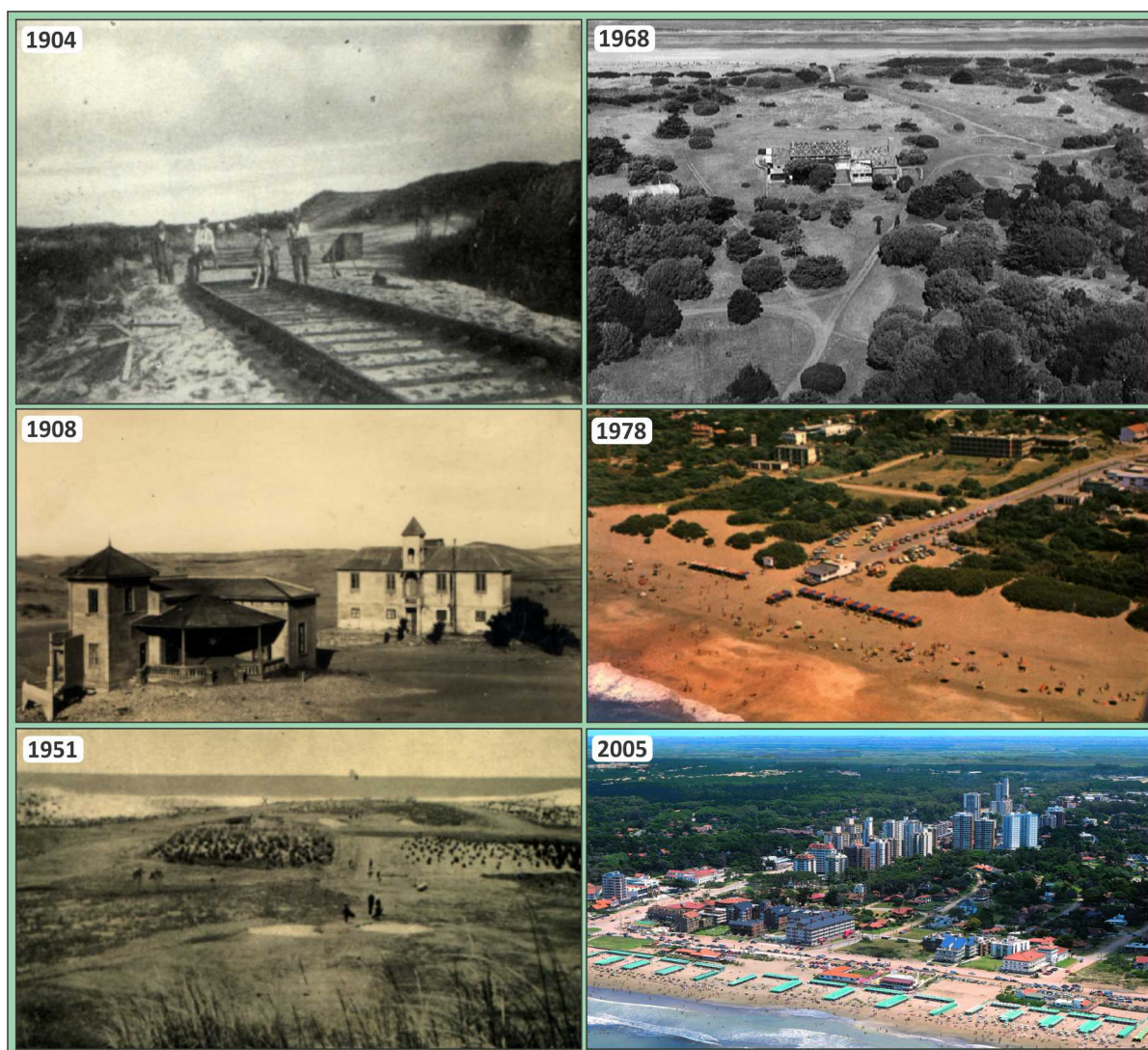


Figura 4.9 Evolución del cordón costero durante los últimos 100 años en el área de Pinamar.

Otras, más recientes, se asocian con la instalación de campos de golf y de polo; la impermeabilización de la superficie en la zona céntrica de Pinamar; la densificación de la trama urbana; la extensión de las urbanizaciones en los sectores norte y sur del partido y el intenso avance de las urbanizaciones particulares son algunas de las intervenciones antrópicas mas destacadas.



El análisis y tratamiento estadístico de las imágenes raster generadas a partir de las bandas Landsat 7 TM 5-4-3 permitieron discriminar las diferentes coberturas existentes (Figura 4.10). Los resultados obtenidos indican que el 50,6% de la superficie del partido se encuentra forestada, el 40,7% corresponde a médanos sin vegetación y el 8,7% corresponde al área impermeabilizada por la urbanización.

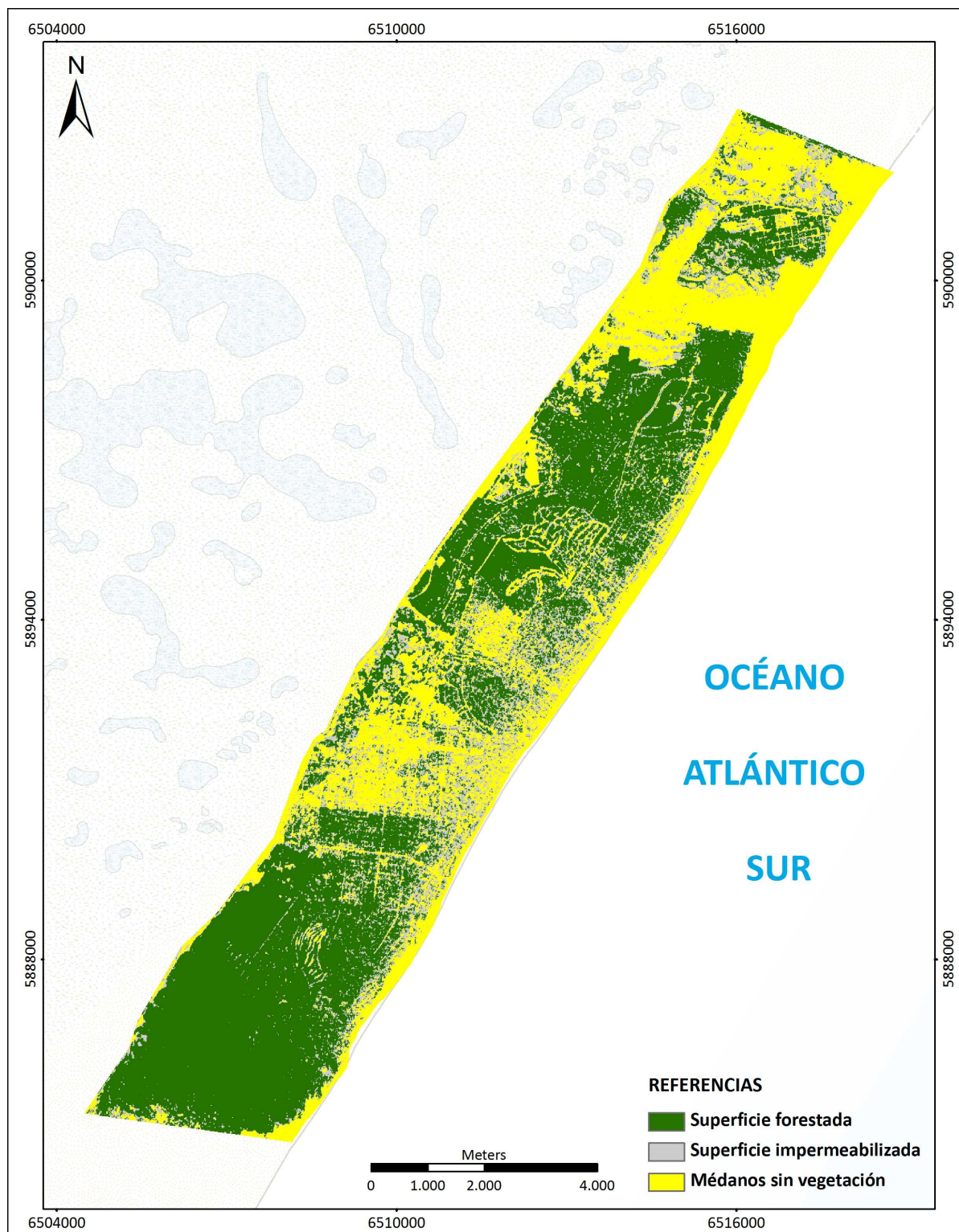


Figura 4.10 Mapa de coberturas realizado a partir de la clasificación supervisada.



4.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS

De acuerdo a datos de Villa Gesell Aero, estación ubicada 8 km al sur de Cariló en el Partido de Pinamar, se confirman localmente las características templadas – húmedas que caracterizan el clima de la región. Las precipitaciones anuales para el período 2003-2014 indican una media anual de 906,6 mm, con un mínimo de 519,9 mm para 2011 y un máximo 1379 mm para 2014.

Tal como puede observarse en la figura 4.11 las precipitaciones muestran variaciones durante los últimos 6 años. Los registros del período 2010-2013 permiten advertir una merma significativa de las precipitaciones con valores ubicados al menos 200 mm por debajo de la media anual y un fuerte incremento para 2014.

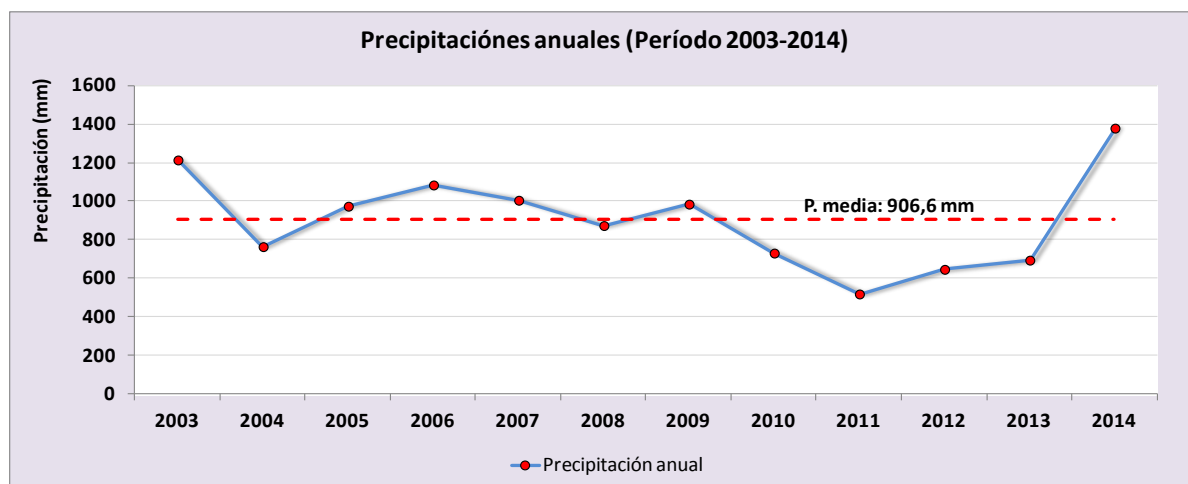


Figura 4.11 Distribución de las precipitaciones anuales 2003-2014.

Los valores medios mensuales (Figura 4.12) muestran una distribución de lluvias homogéneas a lo largo del año con un leve incremento en el verano. No se registran precipitaciones durante febrero de 2010, mientras que el máximo ocurrió en enero de 2006 con una lámina de 271,5 mm.

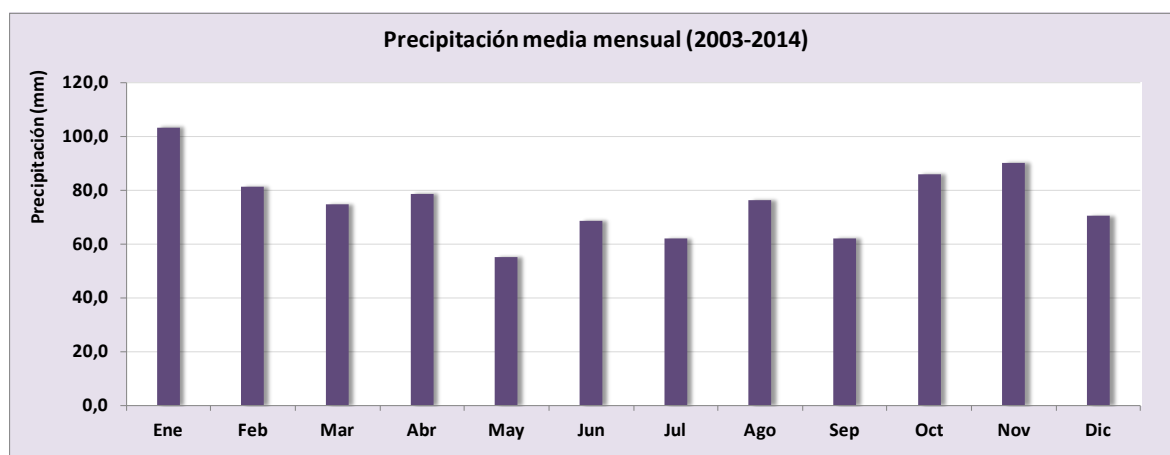


Figura 4.12 Distribución mensual de las precipitaciones.



La temperatura media anual es de 16,2 °C con variaciones interanuales menores a la unidad para el período 2003-2014. La mínima y máxima media fue registrada en el 2012 con valores de 6,2 °C y en 2009 con 25,1 °C respectivamente. En cuanto a la serie histórica se observa que las mayores temperaturas se registran en los últimos años (2008-2014) (Figura 4.13).

Los valores medios mensuales permiten estimar una amplitud térmica de 14,6 °C entre el mes más caluroso (enero) con 23,4 °C y el más frío (julio) con 8,8 °C (Figura 4.14). Los mínimos y máximos medios registrados fueron de 6,2 °C y 25,1 °C en julio y enero de 2009 y 2012 respectivamente

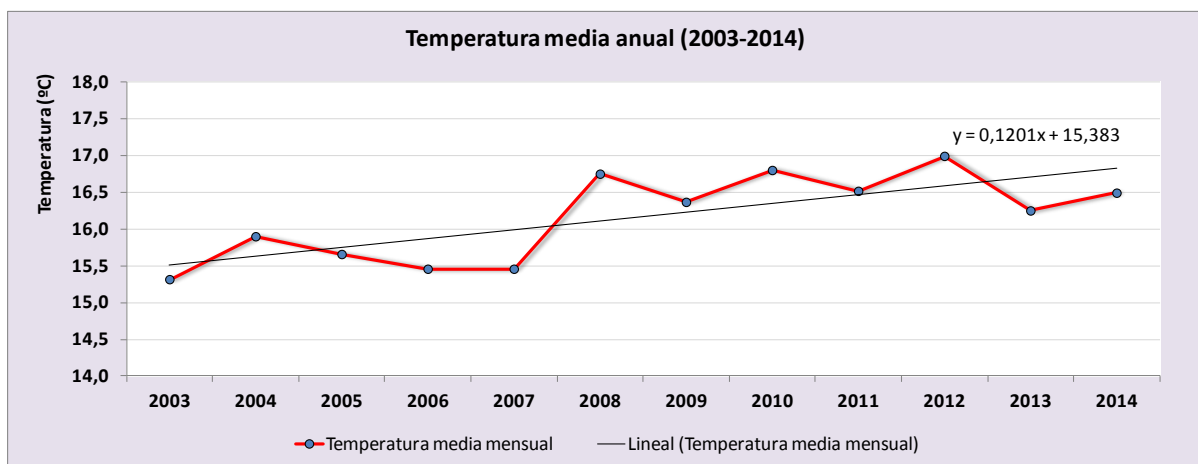


Figura 4.13 Evolución de las temperaturas medias anuales para el período 2003-2014.

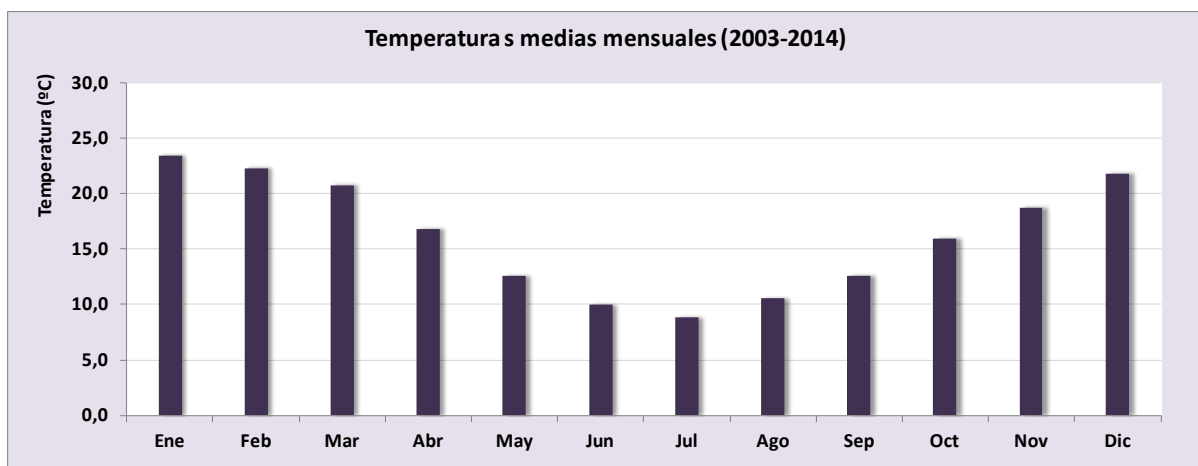


Figura 4.14 Evolución de las temperaturas medias mensuales

4.3 BALANCES HIDROLÓGICOS

Los datos meteorológicos de Villa Gesell permitieron estimar los valores del balance hidrológico a nivel local (Figura 4.15). Las precipitaciones alcanzan los 906 mm/año mientras que la evapotranspiración real (Thornthwaite, 1948) se estima en 782,9 mm/año. El exceso anual de agua es de 123,7 mm el cual se manifiesta durante los meses de julio a noviembre.

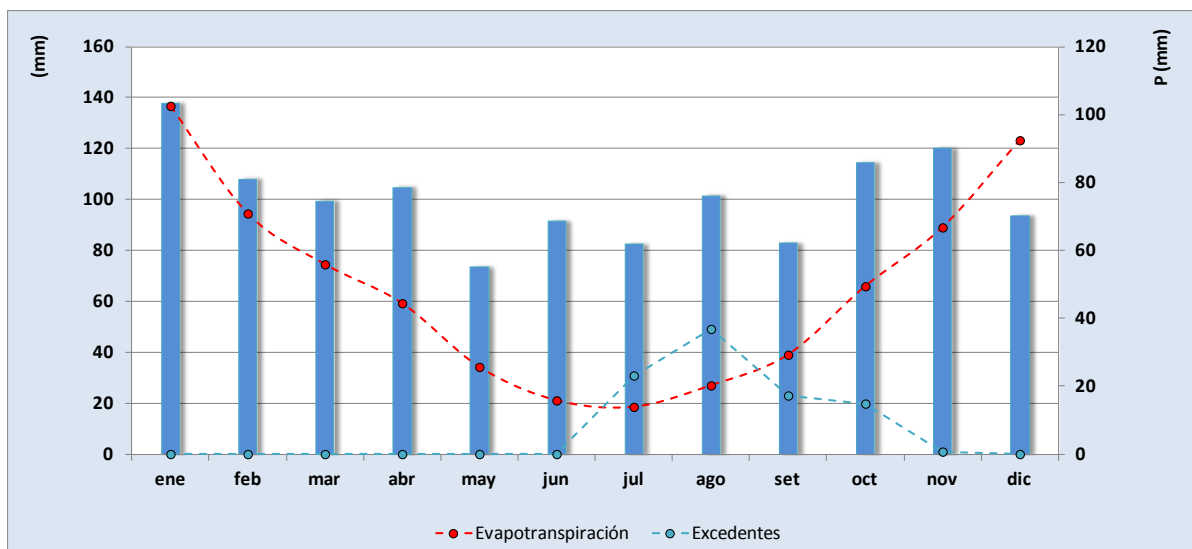


Figura 4.15 Resultados del balance hidrológico local.

Con el objeto de lograr un mayor detalle en el balance hidrológico, que refleje las características particulares del área contemplando los diferentes tipos de coberturas identificadas y la forma en que estas afectan a los términos del balance hídrico, se estimó la evapotranspiración de acuerdo a la metodología propuesta por FAO-Penman-Monteith (Allen et al., 1998). Esta estimación es de paso diario y se aplicó para un suelo medanoso desnudo y un suelo medanoso bajo bosque (suelo medanoso vegetado).

A partir del balance hídrico se obtienen los excesos diarios de agua en el suelo. Estos valores acumulados mensualmente y junto con la suma mensual de las lluvias diarias son los valores que se graficaron en las figuras 4.16 y 4.17.

Los mayores excesos se producen en el caso del suelo con escasa vegetación con respecto al suelo bajo bosque. Esto se debe en primer término a la menor CC (Capacidad de Campo) para el primer caso, lo que hace que ante una determinada lluvia se llegue rápidamente a la capacidad máxima de almacenamiento y el resto se manifieste como excesos recargando a la capa freática.

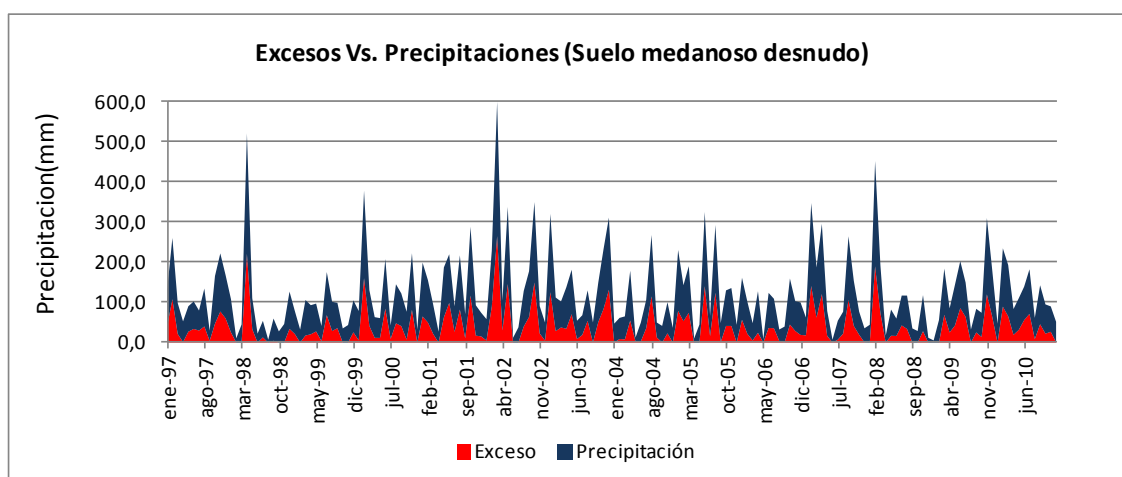


Figura 4.16 Excesos hídricos para el suelo medanoso desnudo

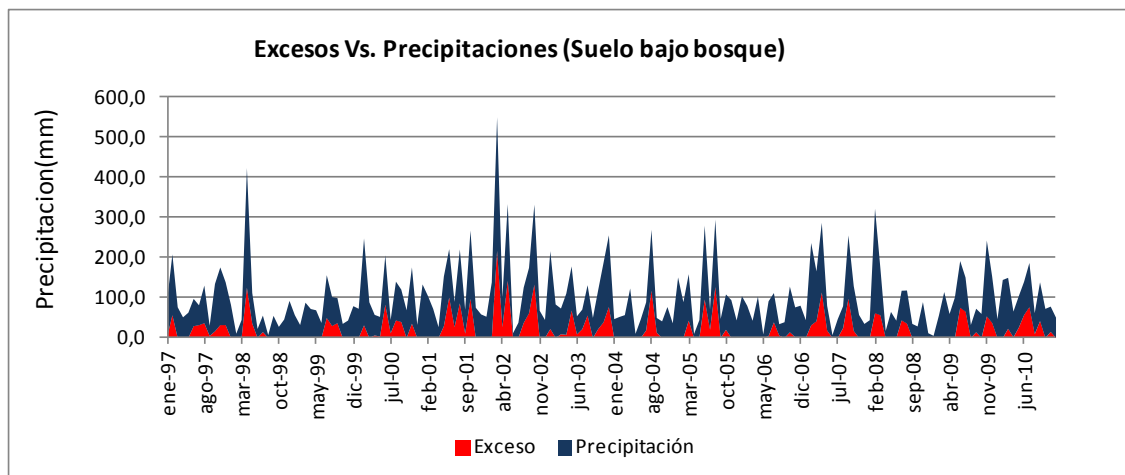


Figura 4.17 Excesos hídricos para el suelo bajo bosque

Lo contrario ocurre en el segundo caso donde la capacidad considerada es mayor. A su vez los resultados indican que la disminución de los excesos en el suelo bajo bosque se produce en verano, pues en esta estación de alta ET_0 , el suelo bajo bosque conserva un $K_c = 1$ como el resto del año. Para el suelo con escasa vegetación, en verano baja el K_c (Ver Figura 2.3, Cap. 2) y por lo tanto disminuye el valor de ET_c con respecto a ET_0 . De este modo, ante igual precipitación se llega más rápidamente a su transformación en excesos de agua, lo cual no ocurre en el bosque donde la alta Et_0 del verano determina el mismo valor de ET_c y por lo tanto los excesos disminuyen en esa estación.

Este fenómeno puede observarse en la figura 4.18, en donde a igual cantidad de precipitaciones el valor de los excesos para el período anual es mayor en el suelo medanoso desnudo (470 mm/año), que en el suelo medanoso bajo bosque (261 mm/año).

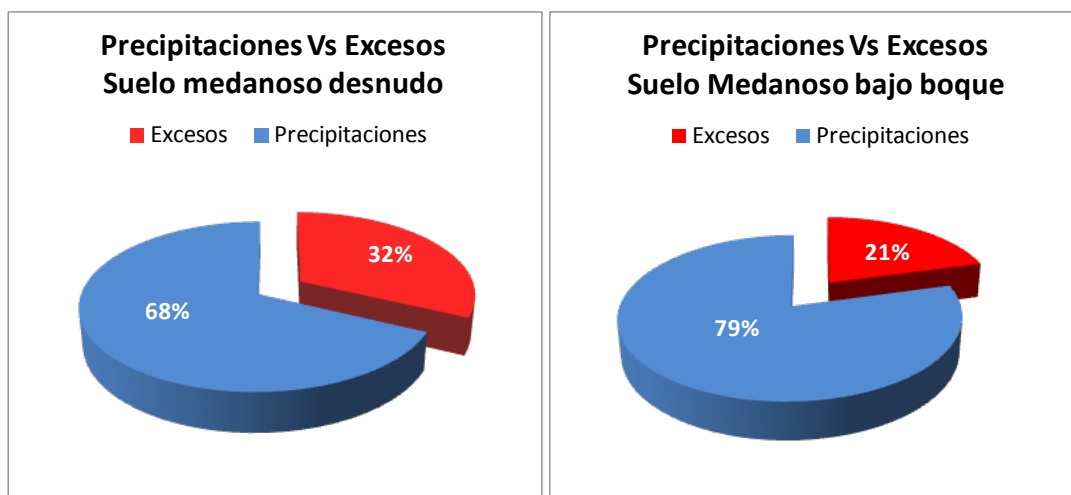


Figura 4.18 Precipitaciones vs excesos suelo medanoso desnudo y suelo bajo bosque

Por otra parte, puede observarse que la proporción entre los excesos de ambos suelos disminuye en invierno (Figura 4.19), debido a que en esta estación de suelos más húmedos, el K_c del suelo desnudo supera algo el valor de 1, por lo tanto la Et_c supera algo a la Et_0 , determinando menos excesos (220 mm).



Esto no ocurre en el suelo bajo bosque, donde K_c se mantiene en el valor 1 y la Et_c se mantiene igual a la Et_0 y por lo tanto no afecta al valor del exceso (178 mm).

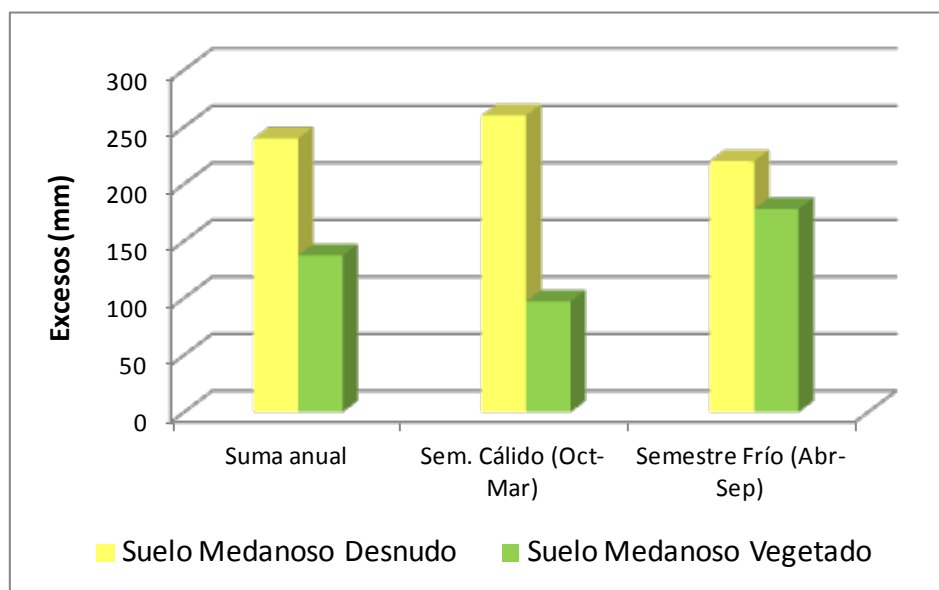


Figura 4.19 Promedios anuales y semestrales de los excesos hídricos.

La variación en la cobertura del suelo posee una influencia directa sobre los excesos de agua dentro del balance hídrico de paso diario, y por consecuente en la recarga del agua subterránea.

Se evidenció un mayor exceso que a través de la infiltración se transformarán en recarga en el ambiente de suelo medanoso desnudo, el cual representa arealmente al 40,7 % de la superficie del partido, a diferencia de la zona forestada con un 50,6% (Rodrigues Capítulo y Kruse 2011).

El análisis de los excesos obtenidos a partir de ambos balances hidrológicos permite, además, estimar un volumen de recarga para cada caso. El volumen de recarga obtenido para el balance de Thornwaite es ligeramente menor ($8,2 \text{ Hm}^3$) que el estimado mediante el método Penmann Monteith el cual alcanza los $20,4 \text{ Hm}^3$ mostrando cierto grado de coherencia entre ambos órdenes de magnitud.

Los resultados obtenidos por el método utilizado (FAO Penman-Monteith) tienen validez para las escalas espaciales y temporales analizadas. Para el caso de una evaluación de mayor detalle, a nivel de predio y balances en tiempos más cortos existen otro tipo de fenómenos que deben considerarse y están vinculados a la presencia de vegetación que tienden a modificar el ciclo hidrológico. Uno de ellos es el efecto producido por la pérdida por interceptación del dosel, la cual es estimada en un 15-30% de la precipitación bruta. Este último valor depende de la edad de los individuos que componen el dosel, de modo que es necesario delimitar zonas de madurez vegetal para garantizar una correcta estimación de los valores del balance a nivel local. Otro de los fenómenos asociados a estos procesos es el efecto producido por la infiltración a través de los tallos de los árboles (stemflow), como así también el goteo a partir de las copas



de los mismos (throughfall), cuyos valores pueden oscilar entre un 85% y 12% de la precipitación bruta respectivamente (Chang, 2006). Otro de los fenómenos a tener en cuenta es la condensación del vapor de agua en las copas de los árboles, la cual ha sido estimada en un 10% o más en regiones tropicales. La variabilidad de estos porcentajes depende de factores como ser el tipo de especie, edad, densidad, característica de la tormenta, estación del año, etc.

De este modo la implantación de áreas forestadas ejerce una influencia directa sobre el balance hídrico. Por una parte los excesos de agua tienden a disminuir como consecuencia de una mayor evapotranspiración afectando así las posibilidades de alimentación del agua subterránea, pero por otra, se debe tener en cuenta también su rol como factor regulador de la humedad del suelo el cual podría ejercer un efecto de amortiguación durante los períodos sin precipitación.

4.4 PARTICULARIDADES HIDROLITOLÓGICAS

De acuerdo a la interpretación de la información generada de las 47 perforaciones ejecutadas se presenta el esquema litológico de la sección superior de la secuencia sedimentaria. A partir de ello fue posible reconocer los diferentes tipos litológicos y esquematizar las relaciones estratigráficas existentes (Figura 4.20). Dicho esquema es una base para entender el funcionamiento hidrogeológico del sistema. En un espesor de 45 metros la secuencia estratigráfica completa se compone por las siguientes asociaciones


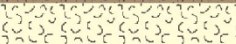
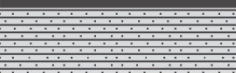
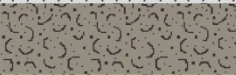

Simbología	Asociación Litológica	Estadío	Edad	
	Arena fina	I	Holoceno	
	Conchilla			
	Horizonte orgánico (paleosuelo)			
	Arcilla gris con intercalaciones arenosas	II		
	Arena mediana		Pleistoceno superior	
	Limo arcilloso con intercalaciones carbonáticas	III y IV		
	Lentes arenosos muy finos			

Figura 4.20 Esquema geológico completo.

Arena fina con conchilla

Se trata de arenas finas a medias con conchilla triturada y cuya potencia oscila entre los 2 y los 15 metros. Los mayores espesores se localizan en las porciones centrales del cordón arenoso. En los sectores



cercanos a la línea de costa se aprecia un aumento notable de la fracción bioclástica, llegando en algunos casos a conformar casi la totalidad de la unidad litológica.

Las muestras de los sedimentos exhiben un color castaño claro, granos subredondeados y un buen grado de selección. La mineralogía consiste en cantidades ligeramente variables de cuarzo, líticos y conchillas, que en términos generales se presentan en proporciones de 60-20-20 (Cuarzo - máficos - conchilla) respectivamente. Los líticos son principalmente minerales opacos, mientras que la fracción bioclástica muestra una gran variabilidad de tamaños y se corresponden fundamentalmente a restos de bivalvos de edad Holocena.

Horizontes orgánicos

Está constituida por niveles de poco espesor (<1 m) compuestos por restos vegetales leñosos acompañados por cantidades variables de arcilla gris oscura. Estos horizontes presentan su mayor expresión y frecuencia en las zonas centrales del cordón y aledañas a la ruta interbalnearia (RP. N° 11). El olor fétido permite inferir el grado de descomposición de la materia orgánica la cual le otorga una tonalidad gris oscura a toda la muestra. El análisis con lupa binocular permitió diferenciar materia orgánica fibrosa y amorfa la cual llega a conformar el 40 al 60% de las muestras en la mayor parte de los casos analizados.

Arcilla gris con intercalaciones arenosas

Esta unidad consiste en arcillas grisáceas con intercalaciones de arena fina a muy fina. En algunos sectores la arcilla se presenta como la fracción subordinada en la arena o lo hace en forma de intercalaciones laminares muy finas dentro del sedimento arenoso. Este paquete presenta su mayor expresión en los sectores centrales del cordón costero con potencias que alcanzan los 12 m. Estos espesores disminuyen hacia la línea de costa en donde tienden a desaparecer. En casos excepcionales se han reconocido fragmentos enteros de valvas acompañando a las arcillas en los sectores costeros, esta condición explicaría la posición subyacente de estos sedimentos respecto a las fracciones conchilíferas de la unidad de "arenas con conchilla". En el análisis con lupa se reconoce el carácter plástico de la arcilla así como también la composición de la fracción clástica la cual se trata únicamente de granos de cuarzo muy fino, muy bien redondeados y seleccionados.

Arena mediana

Se compone de arenas castañas grises oscuras medianas a finas con escaso porcentaje de material gravoso y con proporciones variables de conchilla, las cuales presentan un alto grado de fragmentación. La distribución y espesor de esta unidad es irregular presentando potencias de hasta 12 metros en los sectores centrales del cordón.



Se diferencia de la unidad "arenas finas con conchilla" por su mayor tamaño de grano y por su mayor porcentaje de componentes máficos estableciendo relaciones porcentuales de 50-35-15 (Cuarzo-máficos-conchilla) condición que le brinda una tonalidad más oscura respecto a la unidad anteriormente mencionada. Tanto los granos de cuarzo como los líticos son medianos a finos y presentan granos de forma subredondeada con un buen grado de selección.

Limos – arcillosos castaños con intercalaciones carbonáticas

Se tratan de limos arcillosos castaños con carbonatos en distintas proporciones. El carácter carbonático es evidenciado mediante la reacción de efervescencia al contacto con ácido clorhídrico. Esta litología es la que presenta las mayores potencias de todo el perfil sedimentario logrando alcanzar en ciertos casos los 40 m. El análisis con lupa permitió verificar la existencia de cuarzo y líticos dentro de la fracción clástica la cual llega alcanzar proporciones del 30% de la muestra. La coexistencia de la fracción lítica del limo arcilloso con carbonatos le otorga una tonalidad general castaña clara condición que permite diferenciarla de las arcillas grises con intercalaciones arenosas anteriormente descriptas. Hacia el final de la secuencia frecuentemente se han reconocido niveles de conchilla de hasta 2 metros de espesor asociados con componentes líticos gruesos.

La unidad se puede clasificar como acuitarda con variaciones laterales según el grado de presencia de carbonatos.

Lentes arenosos muy finos

Se trata de intercalaciones arenosas lenticulares más gruesas ubicadas dentro de la unidad "Limos arcillosos castaños con intercalaciones carbonáticas" y que se encuentran compuestas por sedimentos que van desde arenas oscuras muy finas hasta limos gruesos con conchilla altamente fragmentada. Las lentes presentan su mayor desarrollo en los sectores costeros con espesores cercanos a los 20 m como el descrito en la localidad de Montecarlo.

En algunos casos estas lentes poseen características sedimentológicas ligeramente diferentes, tratándose de arenas medianas limpias bien seleccionadas de color castaño claro con un espesor que no supera los 7 m y cuya distribución se encuentra restringida a Valeria del Mar, Ostende y Carilo.

4.4.1 CORRELACIÓN DE UNIDADES LITOLÓGICAS

La caracterización litológica generada a partir de las perforaciones en el subsuelo de Pinamar muestra la alternancia de arenas, limos arcillas y variedades entre estos sedimentos. Estas litologías permiten suponer la existencia de un contraste en las propiedades físicas entre estos niveles resultando este último un aspecto fundamental para la aplicación de un método geofísico que posibilite realizar interpretaciones de detalle razonables dentro de la escala de trabajo empleada. El conocimiento de la variación lateral de estas



unidades adquiere un papel destacable para caracterización hidrológica del medio. Las técnicas geoelectricas vinculadas a la geofísica, que plantean conocer cuál es la respuesta del subsuelo frente a la inducción de una corriente eléctrica, resultan una metodología adecuada para relacionar los datos puntuales de los perfiles litológicos con las variaciones espaciales de las unidades litológicas.

Las respuestas eléctricas observadas a partir de los sondeos eléctricos verticales realizados (Ver Figura 2.11 Cap. 2) permiten advertir un perfil con altas resistividades en la ZNS ($> 300 \Omega m$). En la ZS se reconocen dos o tres capas con comportamiento eléctrico diferente, con valores de resistividad en el rango 10-100 Ωm . La primera capa, por debajo del nivel freático, presenta una resistividad media de 100 Ωm mientras que para la segunda este valor es de 25 Ωm . En términos generales no se aprecian contrastes significativos entre las distintas electrocapas, esta situación podría relacionarse con las variaciones laterales de las características litológicas y con el carácter transicional existente entre las unidades.

En la figura 4.21 se pueden observar los valores de resistividad registrados en las localidades de Montecarlo, Pinamar Norte, Ostende y Cariló, adicionalmente se han representado los valores de radiación gamma obtenidos para las perforaciones. En general se observa un valor medio de 20-35 CPS (cuentas por segundo) para las arenas y un valor máximo de 40 CPS para las intercalaciones arcillosas. El carácter transicional de los pases litológicos inferido en la interpretación de los SEV's se evidencia en este caso ante la ausencia de saltos abruptos en el registro gamma.

Las tomografías realizadas (Ver Figura 2.14, Cap. 2) confirman dichas características (Figura 4.22). La T1 ubicada a 50 m de la RP N°11 presenta un perfil cuyos valores más resistivos (mayor a 200 Ωm) indican la ZNS y permiten estimar una profundidad de 3 m para la posición del nivel freático, en tanto que la ZS lo hace con resistividades ubicadas dentro del rango 20-150 Ωm .

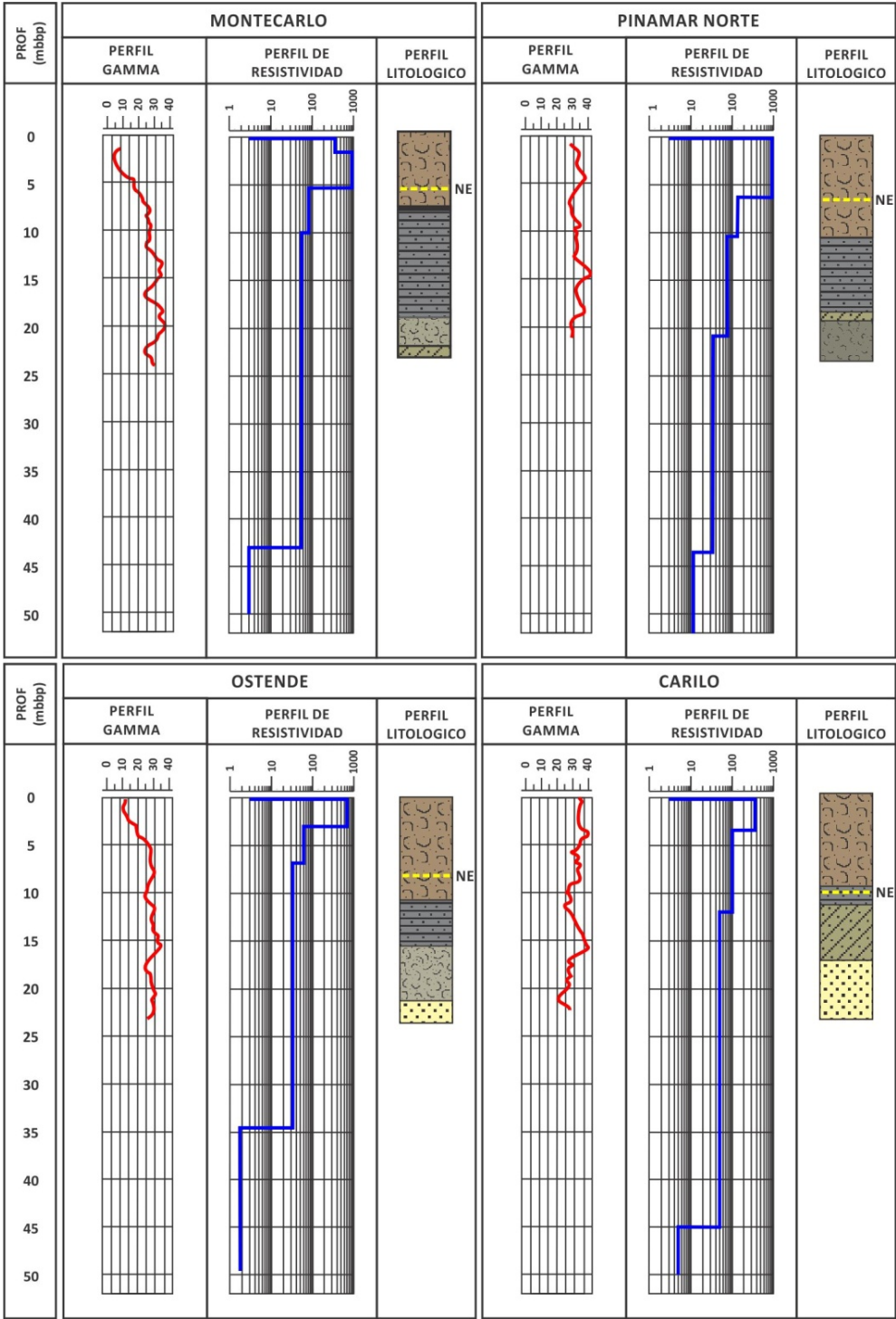


Figura 4.21 Resultados obtenidos a partir de los SEV's y perfilajes gamma realizados en las localidades de Montecarlo, Pinamar Norte, Ostende y Cariló y su correlación con los perfiles litológicos.

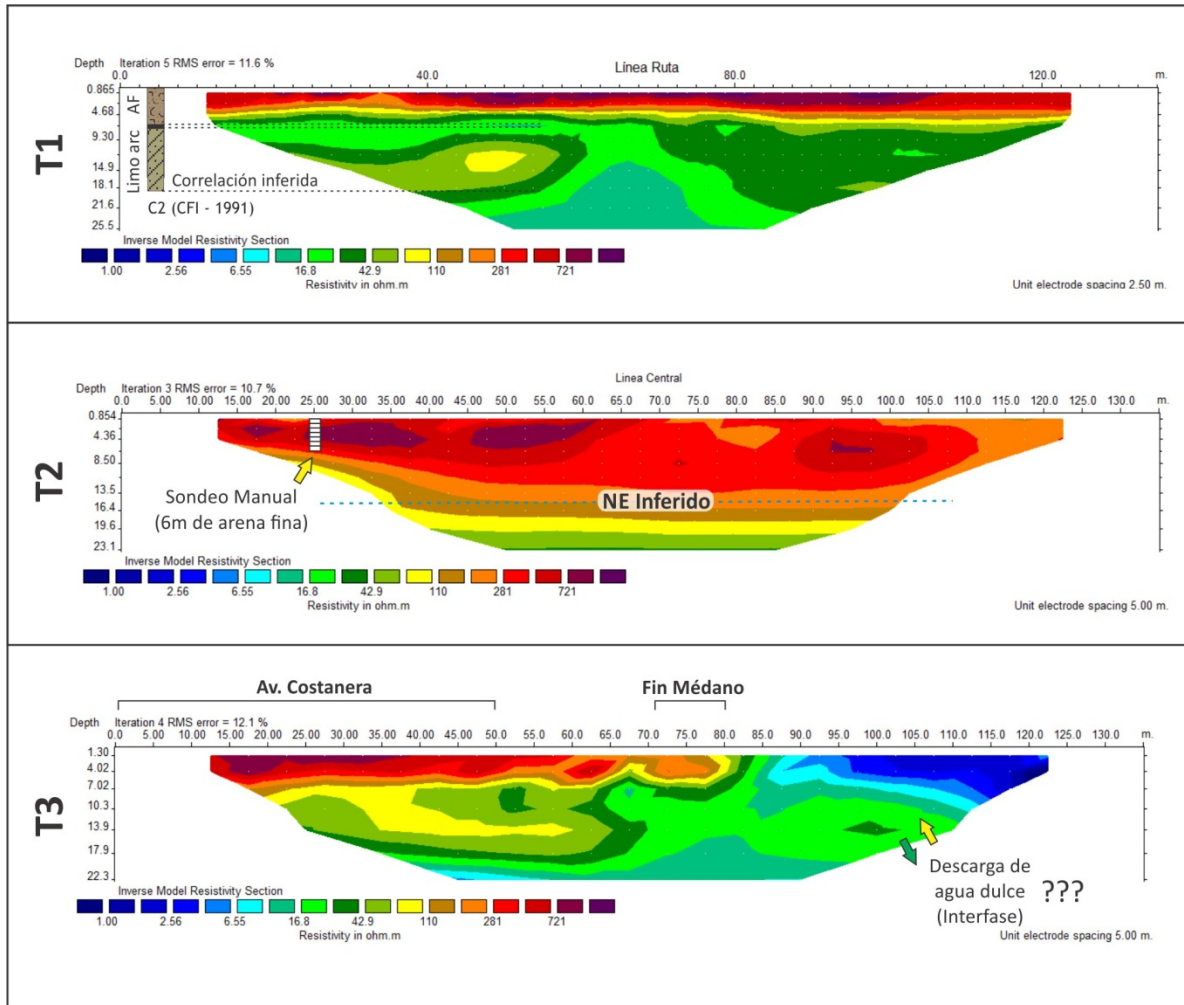


Figura 4.22. Imágenes de resistividad eléctrica (IRE's) obtenidas en la localidad de Pinamar en los sectores de ruta (T1), centro (T2) y costa (T3).

En la T2 (zona central del cordón medanoso), los valores menos resistivos se prolongan alrededor de los 15 m de profundidad indicando el espesor de la zona no saturada. Esta situación pudo ser verificada mediante un sondeo manual sobre la progresiva de 25 m en donde al menos hasta los 6m no se pudo identificar la presencia del nivel freático.

Para completar el esquema geoelectrico en la localidad de Pinamar se midió la T3 cuyo inicio coincide con la Av. Costanera y culmina a escasos metros del mar. (Figura 4.22). En este caso, los valores mayores a 150 Ω m observados en la parte superior izquierda son asignables a la ZNS la cual se extiende hasta la progresiva de 80 con un espesor de 5 m. Las resistividades intermedias (20-150 Ω m) observadas más allá de la progresiva de 80 m y hasta los 20 m de profundidad son atribuibles a arenas saturadas con agua de bajo contenido salino. El análisis de los valores relativamente más resistivos en el sector inferior izquierdo del perfil permite suponer la existencia de una zona de descarga o transferencia de agua dulce hacia el mar



El esquema de trabajo aplicado en Cariló, permitió analizar las respuestas eléctricas de dos sectores ubicados en la región occidental cercana a la RP N°11 (T4) y otra en la oriental en la zona de playa (T5) (Figura 4.23).

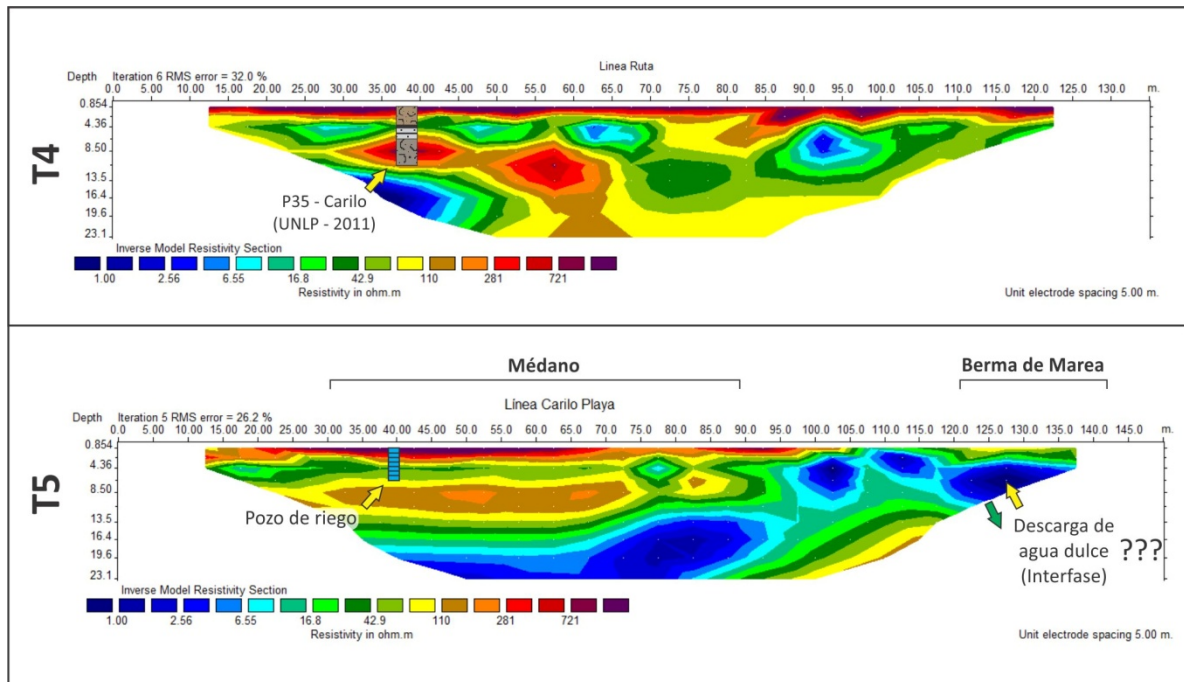


Figura 4.23 Imágenes de resistividad eléctrica (IRE's) obtenidas en la localidad de Cariló en los sectores de ruta (T4), y costa (T5).

La distribución de resistividades para la zona próxima a la ruta (T4) presenta un comportamiento más resistivo para la capa más superficial permitiendo asignar un espesor de 3 m para la ZNS (Zona no saturada). Por debajo de las progresivas de 35 y 40 m y entre los 4 y 8 m valores menores a 7 Ω m pudieron ser correlacionados con las arcillas grisáceas con intercalaciones arenosas descriptas en la perforación P35. Aunque el valor predominante hasta los 20 m es de 20-55 Ω m, se observaron dos sectores más resistivos (150 Ω m) entre las progresivas 40-60 m y más allá de los 100 m que podrían vincularse a lentes de arena con presencia de conchilla.

Sobre la zona oriental la T5 presenta superficialmente un espesor resistivo de 3 m que se extiende hasta la progresiva de 100 m y que corresponde a la ZNS. Seguidamente y hasta los 10 m de profundidad los valores de resistividad intermedia (20-150 Ω m) representan a la ZS, en tanto que los valores menores 3 Ω m ubicados por debajo son asignables al desarrollo de un paquete arcilloso o bien a aguas de elevada salinidad. Desde la progresiva de 100 m y hasta los 120 m se reconoce una baja resistividad desde la superficie hasta los 10 m de profundidad, por debajo de una pequeña cresta de playa. Esta configuración permite apreciar la influencia del mar sobre la zona de playa. En tal sentido, las conductividades eléctricas medidas en los sondeos manuales de 2 m de profundidad sobre las progresivas de 95, 100, 105 y 110 m



muestran un aumento de las conductividades confirmando de este modo el modelo de resistividades propuesto. Más allá de la progresiva de 90 m y por debajo de los 8 m de profundidad los valores de 20 Ω m son asignables a aguas con contenidos salinos intermedios entre el agua dulce y el agua de mar.

Los dos modelos de resistividad propuestos para las tomografías costeras T3 y T5 de las localidades de Pinamar y Cariló presentan algunos caracteres en común, los cuales permiten intuir la compleja interacción de la interfase agua dulce – salada. En este sentido los valores de resistividad intermedia obtenidos (20 Ω m) por debajo del sector de playa indican presencia de agua con un contenido salino intermedio entre el agua dulce y el agua de mar, en tanto que las bajas resistividades registradas en profundidad y por debajo del agua dulce en el sector del médano indicarían la presencia de agua salina.

Las respuestas obtenidas a partir de las líneas T6, T7, T8, T9 (Ver anexo) en la localidad de Cariló permitieron reconocer la naturaleza conductiva de la base acuífera situada entre los 50 y los 60 m de profundidad. Así mismo, la heterogénea distribución de las resistividades permite dimensionar la naturaleza variable de los depósitos sedimentarios. Las formas lenticulares observadas en la T6 y T7 podrían correlacionarse con arenas depositadas en forma de lentes, en tanto que en el caso de la T8 y T9, los valores menos resistivos se vinculan con las arcillas grisáceas depositadas en un ambiente de tipo albuférico ambas formadas durante el Holoceno temprano.

La imagen de resistividades de Valeria del Mar (T10) se caracteriza por presentar una ZNS con valores mayores a los 100 Ω m, en tanto que los registros más resistivos observados desde las progresivas de 140 a 180 m se asocian con los niveles arenosos descritos en el perfil litológico del pozo PE-5 entre los 16 y los 24 mbbp. Hacia el final se infiere una base conductiva la cual podría vincularse con depósitos arcillosos o bien con agua de saturación de mayor contenido salino.

La IRE de Ostende (T11) se localizó en forma próxima a la perforación PE-4 en donde el espesor de la ZNS pudo estimarse a partir un nivel freático situado en los 8,37 mbbp permitiendo de este modo asignar valores de resistividad mayores a los 45 Ω m para dicho sector. Se estima una resistividad mayor para la ZNS, mientras que la disminución de estos en profundidad se correlaciona en la progresiva de 30 m con las arcillas grisáceas.

El método empleado facilita la comprensión de un sistema caracterizado por fuertes variaciones laterales y cuya configuración dificulta las tareas de correlación entre pares litológicos. De este modo la tomografía ha funcionado en este trabajo como una herramienta que permite brindar, en forma conjunta con la información geológica, un abanico de soluciones en virtud de establecer vínculos y conjeturas en aspectos como por ejemplo el espesor, extensión y geometría de los cuerpos arenosos y arcillosos o la salinidad relacionada con la dinámica de la interfase agua dulce – salada.



4.5 CONFIGURACIÓN LITOLÓGICA

El modelado 3D (Figura 4.24) permitió reconocer de un modo integral la distribución de los niveles litológicos descriptos. La integración de los perfiles a partir del geomodelo da una visión tanto de la continuidad y variación de espesor norte-sur de la unidad “Arena fina” así como también las fuertes variaciones litológicas laterales observadas para todo el sistema en profundidad (Figura 4.24, 4.25 y 4.26). En este último sentido se puede definir un escaso desarrollo lateral e interdigitación de todas las unidades litológicas ubicadas por debajo del primer nivel arenoso. Estas unidades se apoyan sobre una base constituida por los “Limos arcillosos con intercalaciones carbonáticas” los cuales constituyen la base del sistema hidrogeológico de la parte superior de la secuencia estratigráfica.

El modelo generado muestra la complejidad estratigráfica del subsuelo infiriéndose la alternancia de variados ambientes sedimentarios superpuestos.

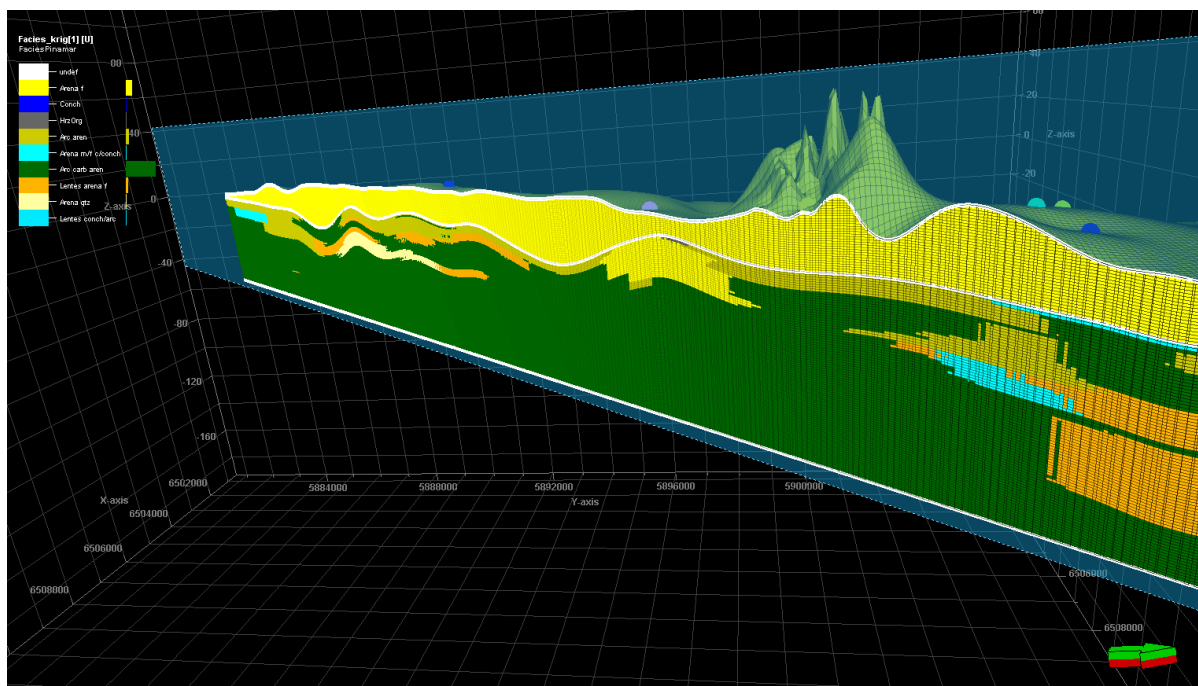


Figura 4.24 Vista 3D de un corte geológico paralelo a la costa obtenido a partir del modelo 3D. El perfil permite apreciar la continuidad y variación del espesor N-S de la unidad “Arena fina” (Color amarillo). Todas las unidades desarrolladas por debajo de esta muestran un desarrollo lateral y vertical restringido. El modelo generado muestra continuidad hidráulica lateral en todo el partido de la unidad “Arena fina” la cual constituye el primer nivel permeable.

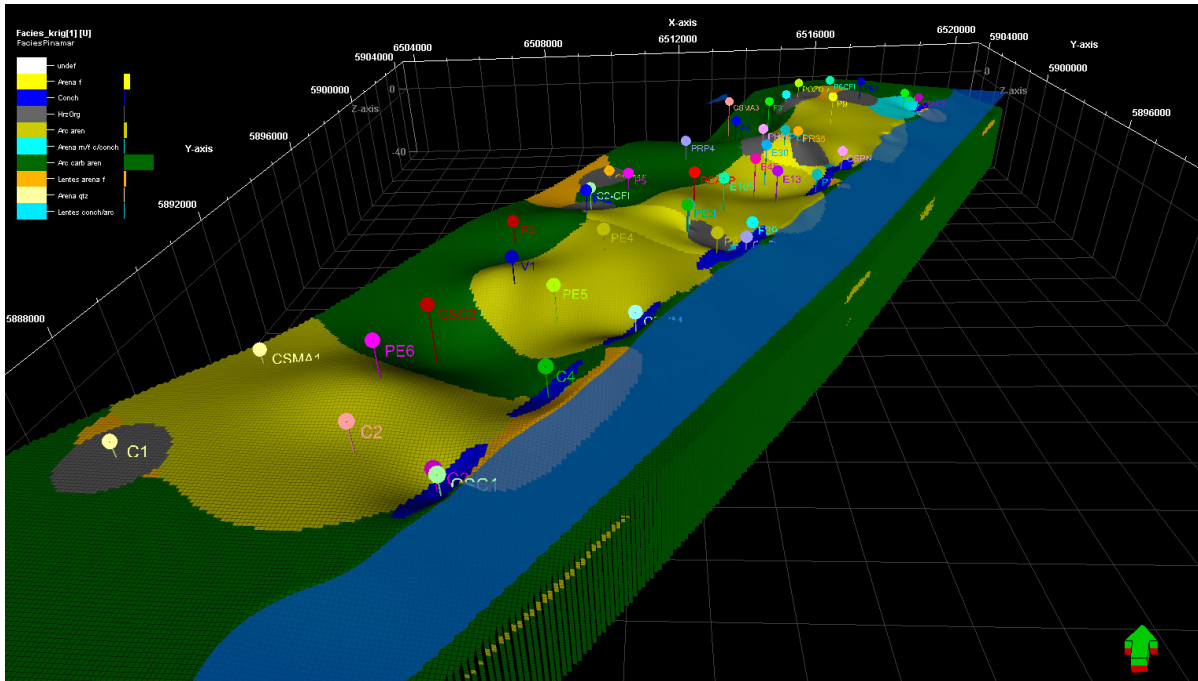


Figura 4.25 Vista en planta N-S. En el esquema se ha excluido la primera unidad con el objeto de evaluar la extensión de la unidad arcillas griseas con intercalaciones arenosas.

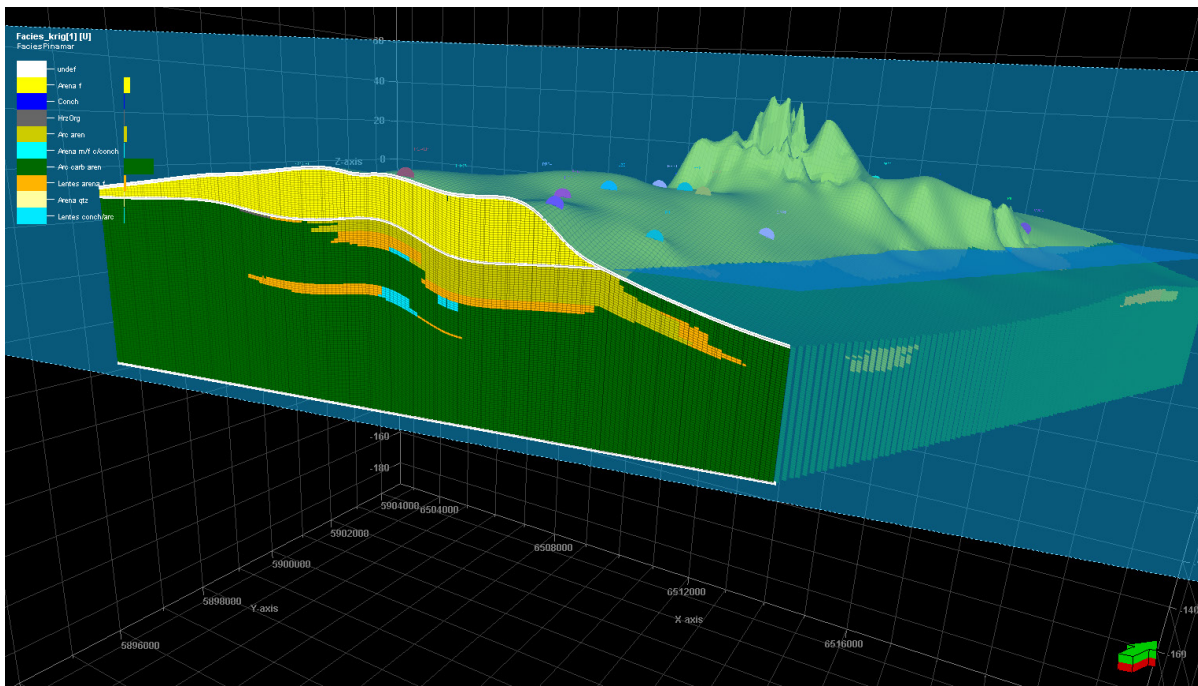


Figura 4.26 Corte geológico perpendicular a la costa obtenido a partir del modelo 3D. Se puede observar el mayor desarrollo vertical de la unidad “arenas finas” (Color amarillo) en el sector central, la extensión de las arcillas grises con intercalaciones arenosas (Color amarillo oscuro) hacia el este del perfil y la disposición de las lentes arenosas muy finas (Color naranja) dentro los limos arcillosos con intercalaciones carbonáticas (Color verde).

El modelo geológico 3D posibilitó verificar la complejidad estratigráfica del sistema. De manera coincidente con lo observado en los relevamientos geoelectricos, el modelo refleja las fuertes variaciones laterales e



interdigitaciones de los sedimentos las cuales dificultan la correlación e interpretación del sistema en forma integrada.

4.6 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA PLEISTOCENO - HOLOCENO

De acuerdo a las litologías identificadas es posible reconocer en 4 estadios principales de evolución morfológica (Rodrigues Capítulo y Kruse 2012), los cuales han sido representados en la figura 4.27.

Los “*Limos arcillosos con intercalaciones carbonáticas*” y las “*lentes arenosas muy finas*” asociadas son el producto de un ciclo transgresivo-regresivo (Figura 4.27 I y II) ocurridos durante el Pleistoceno superior (MIS 5e). De este modo los limos arcillosos constituyen el registro del paleorelieve relicto, mientras que las “*lentes arenosas muy finas*” serían el resultado de la acumulación de los sedimentos erosionados en un mismo ambiente de depositación. La superficie resultante conformó de este modo el paleorelieve relicto sobre el cual se depositaron los sedimentos Holocenos.

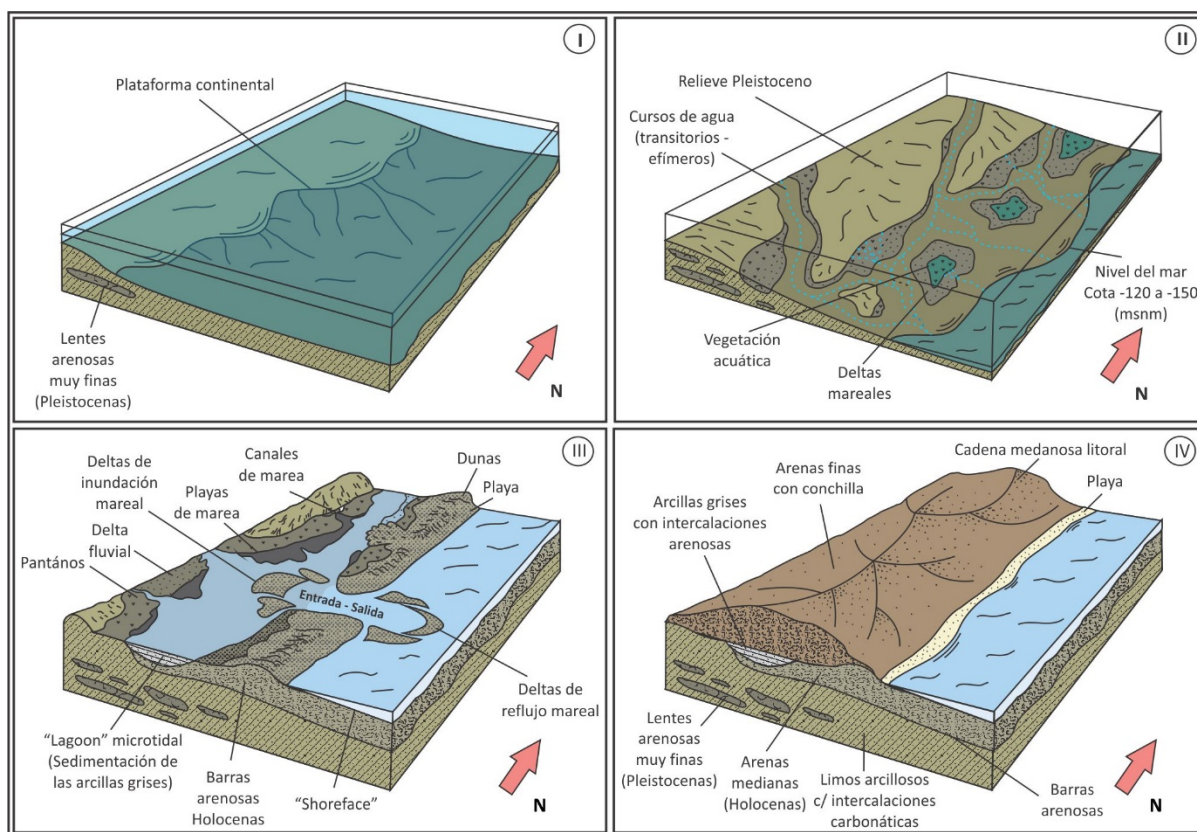


Figura 4.27 Esquema geológico evolutivo para el Pleistoceno superior – Holoceno.

En el Holoceno temprano tuvo lugar la depositación en dirección NE de las barreras transgresivas correspondientes a la unidad “*arenas medianas*”. Estas barreras constituyeron un alto topográfico el cual generó por detrás un ambiente albuférico en donde produjo la sedimentación de las “*arcillas grises con intercalaciones arenosas*”. El paisaje correspondiente para este intervalo (Figura 4.26 III) se correspondería



con el de lagunas internas y costas microtidales parcialmente aisladas del sistema litoral. En este ámbito, la actividad litoral predomina sobre los procesos continentales, ya sea por la acreción de las barreras areno-conchilíferas en sentido vertical, como también la creación de aperturas temporales de canales (Inlets) que permiten el ingreso de agua de mar al sistema de lagunas internas o albuferas entre otras geoformas, mientras que en los sectores más aislados de la dinámica costera se habrían desarrollado incipientes suelos y pantanos los cuales han sido descriptos como horizontes orgánicos. Este tipo de ambientes habrían ocurrido tanto durante transgresión como así también durante el proceso regresivo, de modo tal que este fenómeno explica la alternancia de las arenas y las arcillas observada en algunas perforaciones.

La depositación de las “arenas finas con conchilla” durante el último estadio (Figura 4.27 IV) se relaciona con la instalación definitiva de la cadena actual de médanos costeros que son el producto del constante aporte sedimentario.

En la figura 4.28 se han representado todas las unidades litológicas reconocidas durante los trabajos de campo. A manera de síntesis, el sistema de agua subterránea en los primeros 50m se encuentra conformado por una base de edad pleistocena superior compuesta por “limos arcillosos con intercalaciones carbonáticas” dentro de las cuales se encuentran incluidas las lentes de “arenas muy fina”. El Holoceno temprano se constituye por las “arenas medianas” de la barreras transgresivas y por las “arcillas grises con intercalaciones arenosas” formadas por detrás de estas en un ambiente de baja energía. Por último el Holoceno tardío se encuentra representado por las “arenas finas” de la cadena de médanos actual.

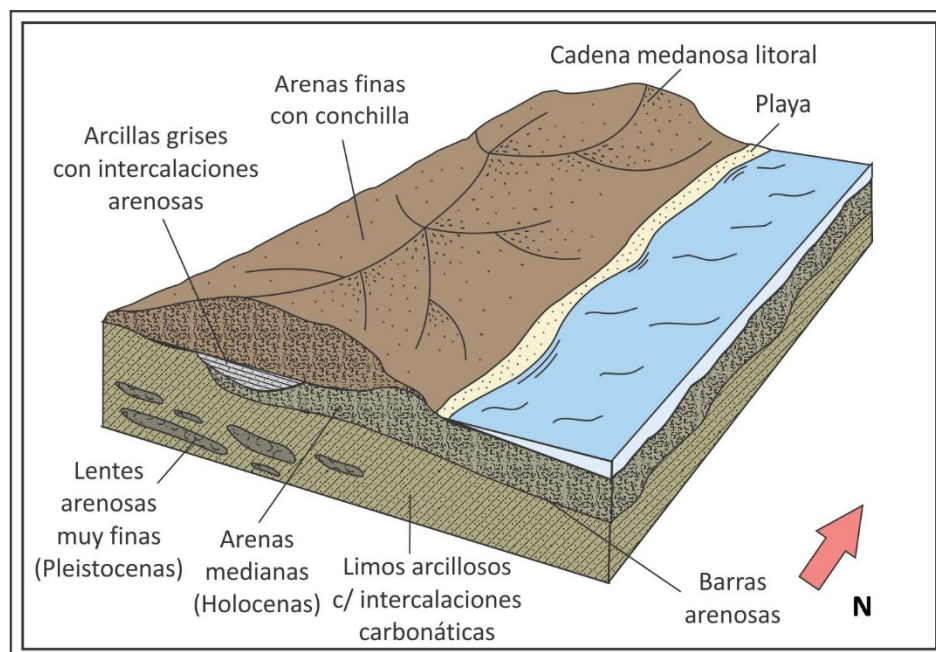


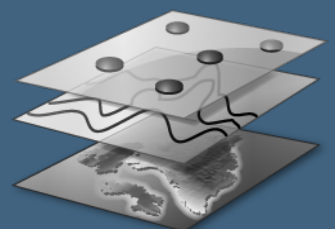
Figura 4.28 Sección esquemática propuesta para el área de estudio.

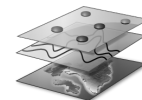


Así, el subsuelo del partido de Pinamar se compone de 3 unidades litológicas que por sus características constituyen niveles acuíferos (arenas finas con conchillas, arenas medianas y lentes arenosas muy finas), esta última de edad pleistocena superior y las dos restantes holocenas que se constituyen en los niveles de explotación de agua subterránea más frecuentes.

CAPÍTULO 5

SISTEMA HIDROGEOLÓGICO





CAPITULO 5 | SISTEMA HIDROGEOLOGICO

5.1 UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

Los ambientes sedimentarios bajo los cuales se produjo la sedimentación de las unidades que contienen el sistema de agua subterránea permiten suponer una significativa variación de espesores y de composiciones granulométricas, tanto en sentido lateral como vertical. Esta situación es la responsable de la discontinuidad de los niveles menos permeables, lo cual genera variaciones en cortas distancias de la conexión hidráulica entre los niveles más permeables.

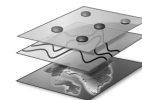
Con el objeto de lograr una transformación de las unidades litológicas en unidades hidrogeológicas se utilizará el término de “hidrofacies” buscando simplificar el sistema y presentar una aplicación directa para la resolución de los problemas hidrogeológicos. El término hidrofacies se emplea en el sentido de Anderson (1989), quien lo define como una unidad sedimentaria homogénea pero no necesariamente isotrópica, que, formada bajo condiciones particulares conduce a un comportamiento hidrogeológico particular.

De acuerdo con el concepto anteriormente mencionado se diferencian 5 hidrofacies cuyos parámetros hidráulicos han sido estimados mediante la realización de los ensayos de bombeo (Tabla 5.1) en los pozos más profundos. Los valores obtenidos a partir de los ensayos como sus respectivas interpretaciones son presentados en forma individual en el anexo.

SITIO	NOMBRE	DIST. PB-PO (m)	Q (m ³ /h)	T (m ² /d)	K (m/d)	S	FECHA
Montecarlo	EB-1	10,15	6,45	65,7	21,9	$1,41 \times 10^{-4}$	19/06/14
Pinamar Norte	EB-2	7,16	5,59	276	69	$2,32 \times 10^{-3}$	28/10/13
Pinamar Centro	EB-3A	10,36	6,25	28,1	7,04	$9,67 \times 10^{-4}$	30/11/13
	EB-3B		6,54	17,1	4,28	$1,22 \times 10^{-3}$	14/08/14
Ostende	EB-4A	6,45	2,8	47,4	11,8	$9,70 \times 10^{-3}$	10/12/13
	EB-4B		6,54	71,9	17,9	$3,43 \times 10^{-3}$	15/08/14
Valeria del Mar	EB-5	6,12	6	69,8	17,4	$1,2 \times 10^{-3}$	18/06/14
Carilo	EB-6	9,05	6,54	153	38,3	$7,47 \times 10^{-4}$	13/08/14

Tabla 5.1 Valores obtenidos a partir de los ensayos de bombeo.

En la figura 5.1 se muestran las hidrofacies y se las compara con las características hidrolíticas y los valores típicos de transmisividad (T), conductividad hidráulica (K) y almacenamiento (S).



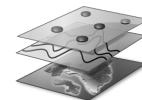
Simbología	Asociación Litológica	K (m/d)	T (m ² /d)	S	Hidrofacies
	Arena fina	8 - 12	130		A
	Conchilla				
	Arcilla gris con intercalaciones arenosas	(K') 1×10^{-4}	(T') $1 \times 10^{-5} \text{ d}^{-1}$		B
	Arena media	10 - 20	45 - 70	$1 \times 10^{-3/-4}$	C
	Limo arcilloso con intercalaciones carbonáticas	(K') $1 \times 10^{-2/-3}$	(T') $1 \times 10^{-3/-4} \text{ d}^{-1}$		D
	Lentes arenosas muy finas	4 - 10 15 - 40	15 - 30 70 - 150	$1 \times 10^{-3/-4}$	E

Figura 5.1 Esquema propuesto para el medio físico hidrogeológico en el Partido de Pinamar. Valores de T, K y S asignados para cada hidrofacies.

La hidrofacies A (Arena fina con conchilla) incluye a la zona no saturada. Los valores de conductividad hidráulica oscilan entre los 8 y 12 m/d, mientras que los de transmisividad lo hacen entre los 110 y los 130 m²/d, estimándose un coeficiente de almacenamiento de 0,15. Las propiedades geoeléctricas indican resistividades que para la zona no saturada son mayores a los 200 Ωm mientras que para la zona saturada los valores más frecuentes se encuentran entre los 20 y los 150 Ωm . Constituye una unidad acuífera que contiene a la capa freática y está en contacto con los procesos hidrológicos superficiales siendo la principal vía de infiltración directa de los excesos de las precipitaciones. En partes corresponde al actual ambiente de sedimentación en donde las condiciones climáticas y geomorfológicas favorecen la acreción del cordón costero existente.

La hidrofacies B (Arcilla gris con intercalaciones arenosas + horizontes orgánicos), está compuesta por sedimentos arcillosos originados en un ambiente del tipo albuférico. Los valores de T vertical y de K vertical obtenidos se encuentran en el orden de $1 \times 10^{-5} \text{ d}^{-1}$ y de $1 \times 10^{-4} \text{ m/d}$ respectivamente. Las resistividades eléctricas reconocidas en este medio son inferiores a los 10 Ωm . Los horizontes orgánicos (Paleosuelos) se incluyen en esta unidad debido a las similitudes en cuanto al comportamiento hidrogeológico resultante. Su función hidrolítica es de un acuitardo, estando su comportamiento vinculado directamente con las variaciones de espesor que presenta.

La hidrofacies C (arena media) se relaciona con el segundo evento transgresivo-regresivo ocurrido durante el Holoceno, que se caracterizó por la acreción las barreras areno-conchilíferas. El rango de



valores de transmisividad se halla entre los 45 y los 70 m²/d, mientras que la conductividad hidráulica oscila entre los 10 y los 20 m/d. Los valores de almacenamiento obtenidos varían 1×10^{-3} y 1×10^{-4} . Las resistividades eléctricas van desde los 20 a los 60 Ω m. Desde un punto de vista hidrológico representa a una unidad acuífera.

La hidrofacies D compuesta por limos arcillosos con intercalaciones carbonáticas, constituye un medio de conductividad hidráulica intermedia y representa al primer ciclo transgresivo - regresivo del final del Pleistoceno. Los ensayos realizados permitieron estimar una conductividad hidráulica vertical de 1×10^{-3} m/d en tanto que los rangos de transmisividad vertical se encuentran entre los 1×10^{-3} y 1×10^{-4} d⁻¹. La unidad se puede clasificar como acuitarda con variaciones laterales según el grado de presencia de arcilla y de la abundancia relativa de carbonatos.

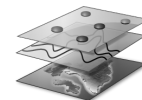
La hidrofacies E está constituida por lentes arenosas muy finas correspondientes al final del Pleistoceno. Los rangos de conductividad hidráulica estimados para la variedad arenosa más fina se hallan entre los 4 y 10 m/d mientras que la transmisividad oscila entre los 15 y los 30 m²/d. La variedad más gruesa (arena mediana limpia) posee rangos de conductividad hidráulica y transmisividad algo mayores, hallándose entre los 15 y los 40 m/d y entre los 70 y 150 m²/d respectivamente. Los valores para el coeficiente de almacenamiento se hallan entre 1×10^{-3} y 1×10^{-4} . Se trata de lentes con características acuíferas que en general tienen de extensión areal significativa.

5.2 CONFIGURACIÓN HIDROGEOLOGICA

Con el objeto de obtener un modelo que represente la complejidad del subsuelo y que incluya un criterio hidrogeológico, se confeccionaron 10 perfiles hidrogeológicos, 3 ubicados en forma paralela a la costa mientras que los 7 restantes lo hacen en forma perpendicular (Ver Figura 2.15, Cap. 2).

Dichos perfiles (Figura 5.2 y 5.3) permiten evaluar la configuración regional del sistema así como también la disposición de las hidrofacies. De un modo general se observa un patrón irregular en la distribución de las litologías, evidenciado a partir de las fuertes variaciones laterales. Esta condición lleva a deducir la existencia de procesos de acumulación y erosión que operaron en forma simultánea. Así mismo se aprecia un mayor desarrollo de todas las unidades en los sectores centrales del cordón y es aquí donde pueden diferenciarse todas las unidades descriptas.

La hidrofacies A, es la que presenta una mayor continuidad lateral, compuesta por "arena fina con conchilla" (Ver perfiles A-A', B-B' y C-C'), incluso se reconoce un típico nivel de conchillas situado próximo a la actual línea de costa (Perfil A-A') pudiendo ser el producto de antiguas plataformas de abrasión marina. Todo el conjunto se encuentra apoyado sobre las unidades subyacentes a través de una discordancia erosiva.



Por su parte la hidrofacies B ("arcillas grises con intercalaciones arenosas") encuentra su mejor expresión en las porciones centrales del cordón, condición que pudo ser verificada en la mayoría de los perfiles y particularmente en los perfiles B-B' y D-D' en donde los espesores alcanzan los 12 m. Frecuentemente se han descrito en la parte superior de estos horizontes orgánicos los cuales son el registro de antiguos suelos enterrados (Paleosuelos).

Por debajo de las arcillas descritas se observan una serie de niveles arenosos compuestos por arenas medianas (hidrofacies C) las cuales presentan escaso desarrollo lateral. La potencia de estos cuerpos tiende a disminuir hacia ambos extremos del cordón costero. Dicha relación estratigráfica puede observarse con claridad en los perfiles transversales D-D', F-F', J-J' e I-I'.

Por último y como base del sistema se observan limos arcillosos castaños con intercalaciones carbonáticas (hidrofacies D) de un desarrollo vertical importante dentro de las cuales se encuentran lentes arenosas muy finas (Hidrofacies E). En numerosas ocasiones se pudo identificar la existencia de niveles de conchilla de variado espesor situados en la base de las lentes o bien en forma aislada dentro de los limos arcillosos, estos niveles podrían tratarse de estructuras de playa relictas formadas sobre antiguas líneas de costa.

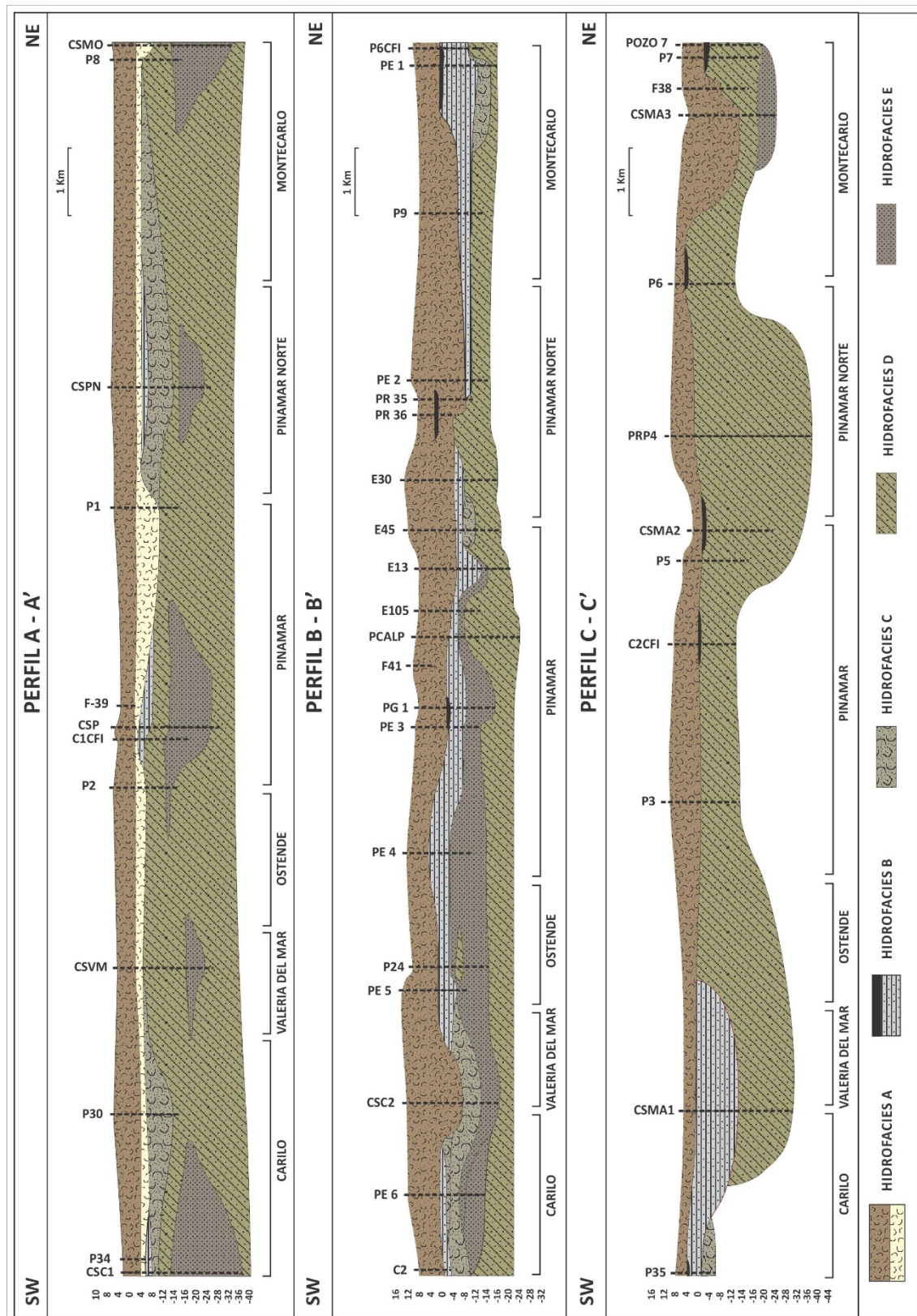
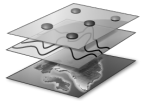


Figura 5.2 Perfiles hidrogeológicos paralelos a la línea de costa.

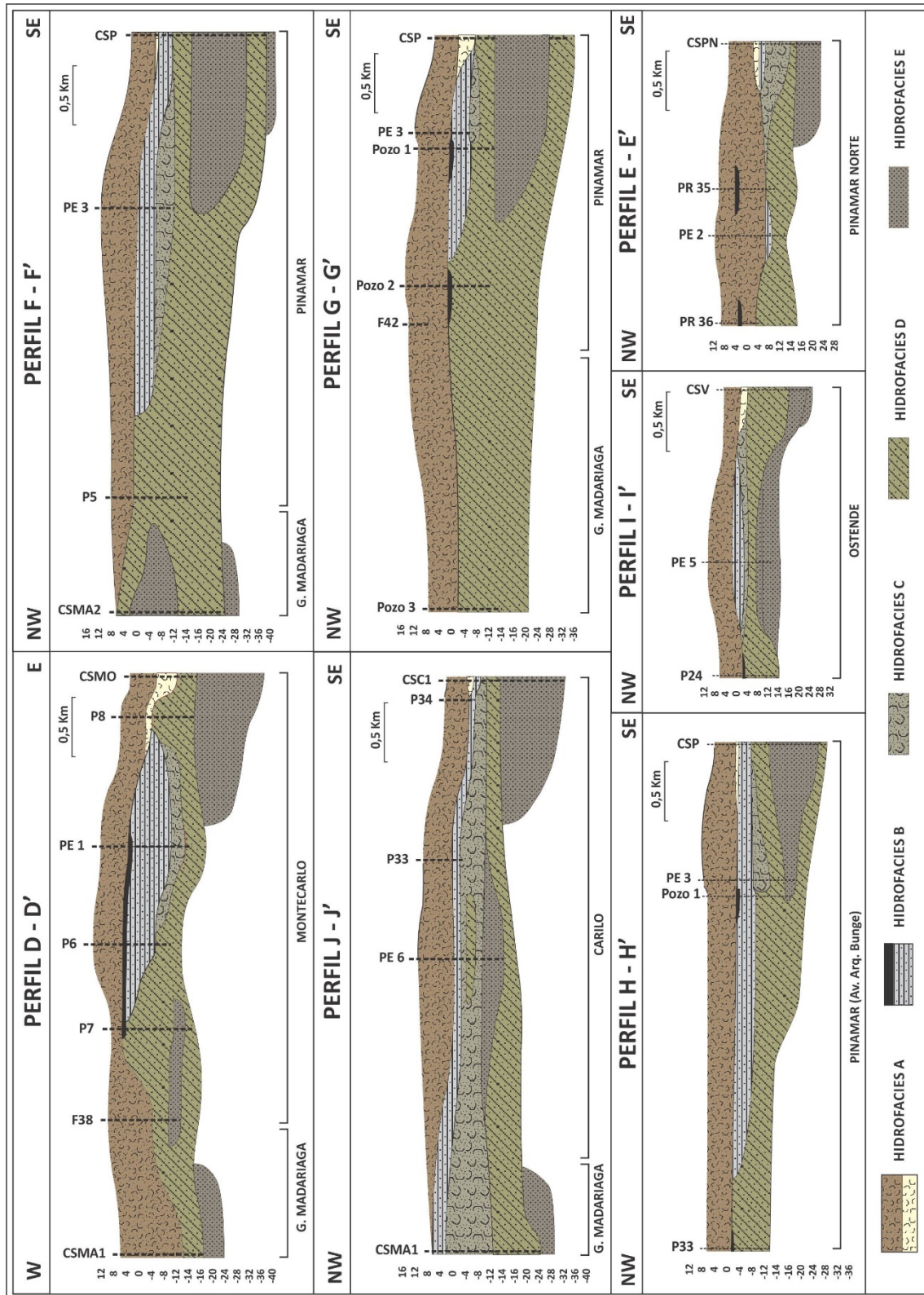
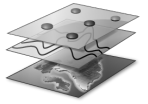
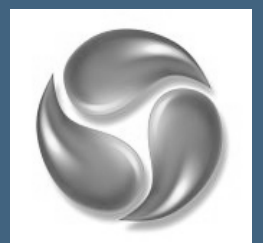


Figura 5.3 Perfiles hidrogeológicos perpendiculares a la línea de costa.

CAPÍTULO 6
HIDRODINÁMICA





CAPITULO 6 | HIDRODINÁMICA

6.1 FLUJO SUBTERRÁNEO

El análisis de los mapas de flujo subterráneo permitió identificar la morfología general de la capa freática y la relación con las unidades situadas a mayor profundidad diferenciando aquellas particularidades que surgen del comportamiento natural de aquellas que son producto de la actividad del hombre. En general la capa freática está incluida en la hidrofacies A (arenas finas con conchilla) que cubre la mayor parte del cordón costero. Las unidades de mayor profundidad se refieren esencialmente a las hidrofacies C y E, que son los niveles acuíferos correspondientes a las arenas medianas (Holoceno) y a los lentes arenosos finos (Pleistoceno superior), respectivamente.

La morfología freática es radial con curvas equipotenciales orientadas en forma paralela a la costa lo cual indica un sentido de flujo subterráneo hacia el mar y otro hacia el continente (Figura 6.- Mapa N° 1 en anexo). En términos generales, la divisoria de agua subterránea coincide con las máximas alturas topográficas siguiendo una línea imaginaria orientada en sentido sudoeste-noreste. Esta divisoria muestra un leve desplazamiento hacia el oeste con respecto al centro geográfico del cordón costero, en particular en las localidades de Ostende, Valeria del Mar y Carilo. Por otra parte en la zona costera las curvas de menor valor (2-4 msnm) muestran algunas inflexiones que no se condicen con los rasgos morfológicos de la superficie.

A partir de dicha divisoria es posible detectar diferencias en los gradientes hidráulicos en el norte y en el sur del partido (Figura 6.1). En el norte (Montecarlo) el gradiente hídrico se manifiesta de igual modo hacia ambos lados de la divisoria con valores medios de 2 y 3 m/km. En el sur en cambio (Ostende, Valeria y Cariló) este gradiente presenta diferencias según el sentido de flujo y como se indicó anteriormente, presenta un leve desplazamiento hacia el oeste en relación a las máximas alturas del cordón costero. El mayor gradiente se desarrolla sobre la vertiente occidental con valores de 3 y 4 m/km en tanto que los menores se encuentran en el flanco oriental con un rango que va de 1 a 1,5 m/km.

En cuanto a la distribución de las curvas equipotenciales (Tabla 6.1) se observa que el 48,9% se encuentra comprendido entre las cotas de 2 y 4 msnm, mientras que el 20,3 y 15,6 % se distribuyen entre las de 4-6 y de 0-2 respectivamente.

Cota hídrica (msnm)	Distribución (Km ²)	Distribución (%)
0 - 2	10,3	15,6
2 - 4	32,4	48,9
4 - 6	13,5	20,3
6 - 8	9,3	14,0
8 - 10	0,6	0,9
10 - 12	0,2	0,3



Tabla 6.1 Distribución de potenciales hidráulicos para la red de flujo promedio para el Partido de Pinamar.

La mayor parte del mapa (69,2%) se desarrolla entre las cotas de 2 y 6 msnm, el 15,6% lo hace entre las equipotenciales de 0 y 2 msnm (hacia el área de descarga), y el 15,2% restante corresponde a la zona de divisorias ubicada entre las curvas de 6 a 12 msnm.

El análisis comparativo de los perfiles transversales al cordón (Figura 6.1) permite evaluar la variación de las líneas de flujo subterráneo entre los sectores norte (A), centro (B) y sur (C). El máximo gradiente hídrico corresponde al perfil B (Centro) y el mínimo el C (Sur), mientras que el perfil A se trata de una situación intermedia.

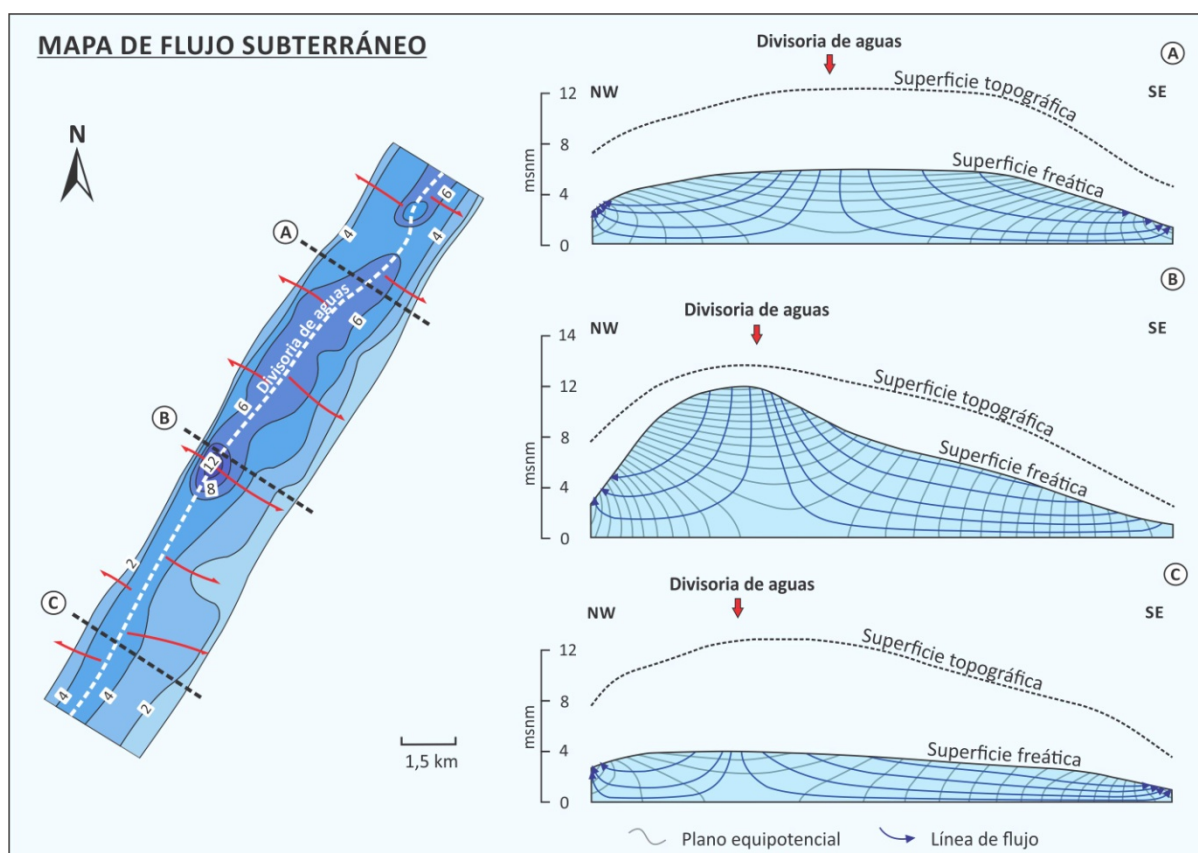


Figura 6.1 Perfiles de flujo subterráneo simplificados para el sector Norte (A), Centro (B) y Sur (C).

El análisis detallado de la red de flujo permite, además, puntualizar sobre ciertos rasgos asociados a la actividad antrópica.

El primero de ellos se asocia con la falta de continuidad de la equipotencial de 6 msnm hacia el sur en el sector comprendido por las localidades de Ostende, Valeria del Mar y Carilo (Figura 6.1). Esta condición se podría vincular con una profundización de los niveles asociada a la extracción de agua subterránea producto de la instalación de numerosas obras de captación en este sector durante los últimos 7 años (Figura 6.2).



Este fenómeno también se ve acompañado por el desplazamiento hacia el continente de las equipotenciales de 4 y 2 msnm, siendo la segunda más notable en Valeria del Mar.

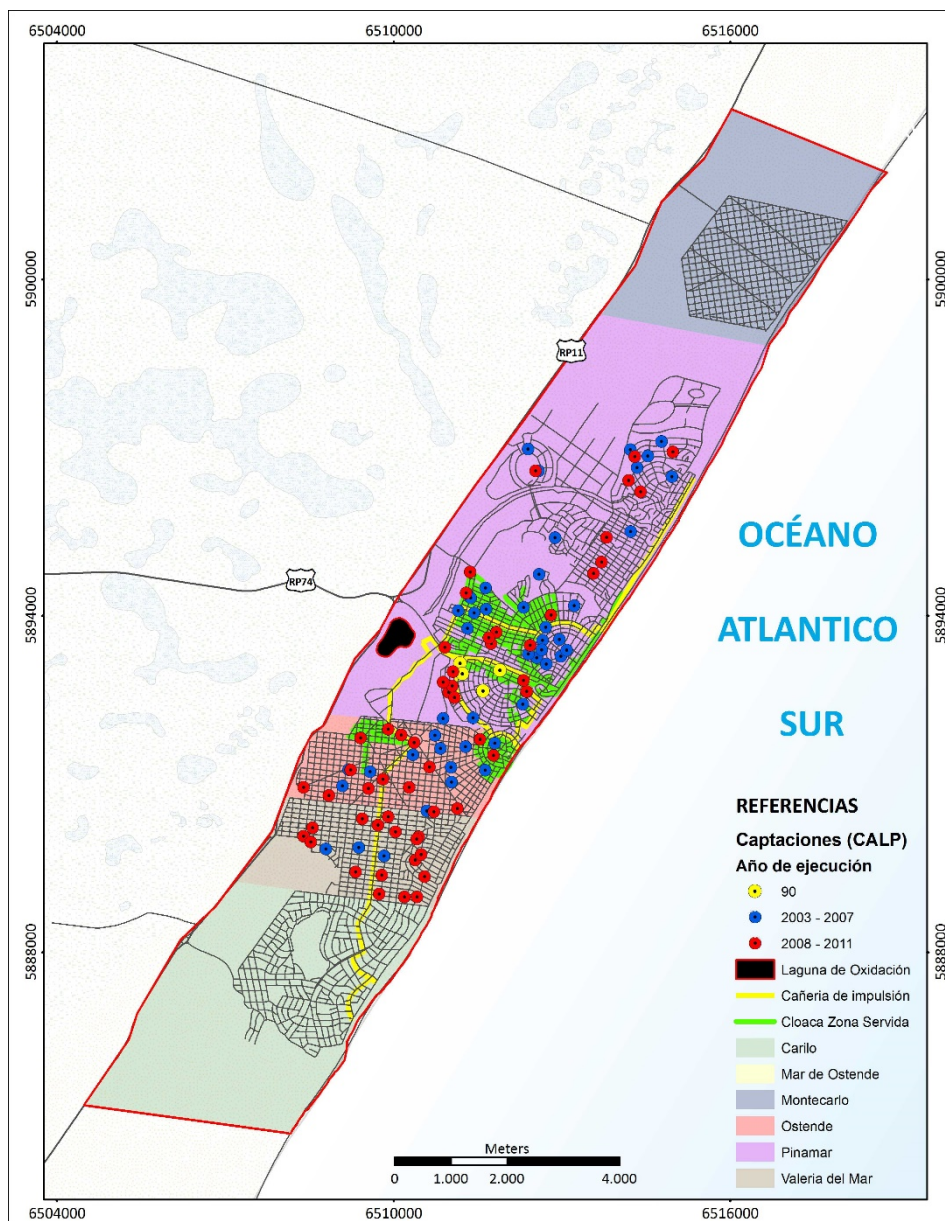


Figura 6.2 Ubicación de las perforaciones de captación (CALP), con indicación de su año de construcción y características del sistema de saneamiento.

Por otra parte, si bien la existencia de valores de cotas hidráulicas puntualmente mayores en la zona centro-occidental del cordón es el resultado de la morfología natural del terreno, este comportamiento se ve favorecido en primer lugar por la modificación local de la topografía original llevada a cabo durante la creación de las lagunas de oxidación de la planta de tratamiento y en segundo, por la recarga artificial in-situ de las aguas de la planta de tratamiento. Dicha planta recibe diariamente los efluentes domiciliarios del sector



servido por el sistema de saneamiento el cual se estima que cubre el 35% del área urbanizada (Datos aportados por la Secretaría de Planeamiento del Partido de Pinamar).

El mapa de flujo de las unidades más profundas (>36 mbbp) asociadas a las hidrofacies C y E, es planar a radial levemente convexa (Figura 6.3 - Mapa N° 2 en anexo). La diferencia entre la cota de flujo máxima y mínima es de 3,5 m la cual se desarrolla en una distancia de 5 Km. El gradiente hídrico se manifiesta con curvas equipotenciales alineadas en forma paralela a la costa indicando un sentido de flujo sureste hacia el mar.

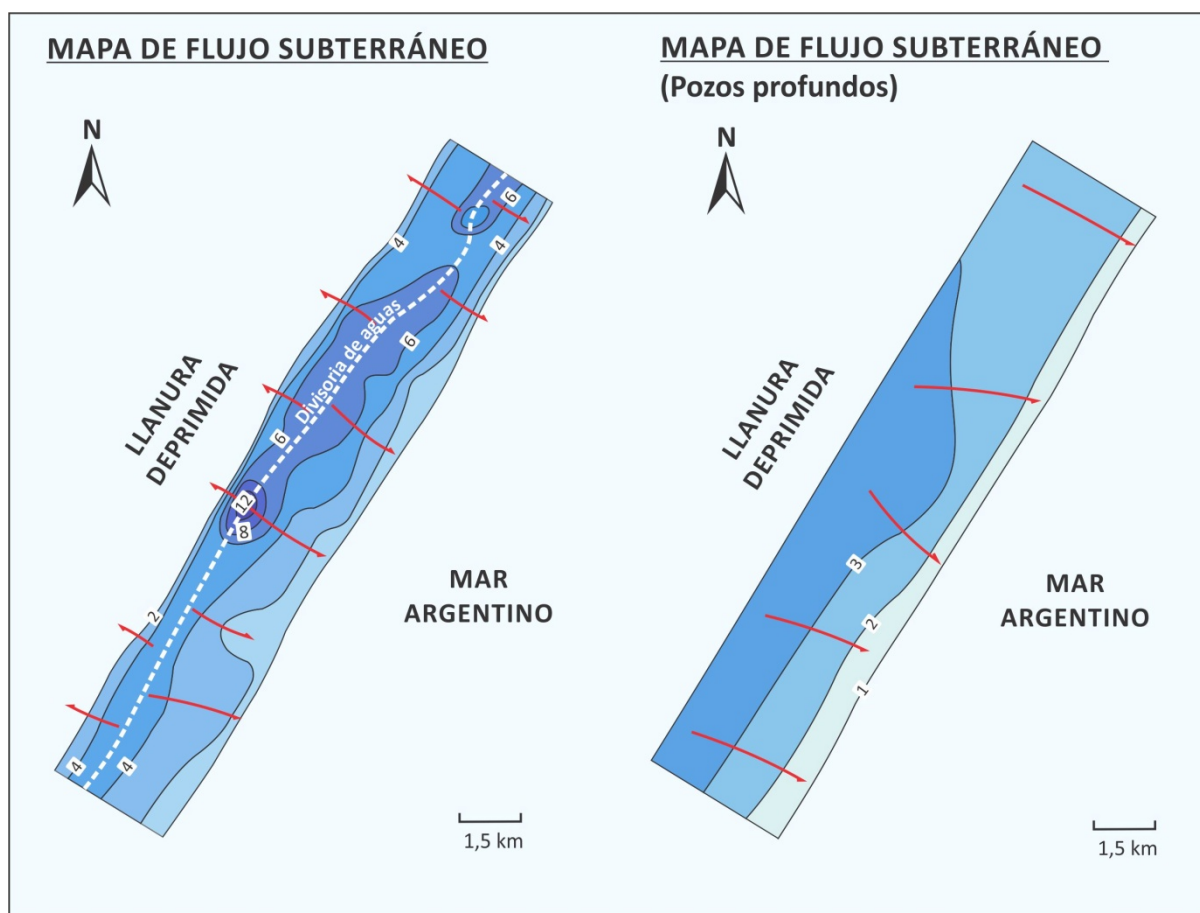


Figura 6.3 Mapas de flujo subterráneo realizados a partir de los pozos someros (Izq) y los pozos profundos (Der). El análisis comparativo entre ambas redes de flujo permite diferenciar el flujo local (Izq) del regional (Der).

El análisis comparativo entre ambas redes de flujo (Figura 6.3) permite detectar diferencias relacionadas con los sentidos de flujo y el espaciamiento entre las equipotenciales. El mapa de flujo para los pozos someros responde a comportamientos locales, mientras que el segundo a uno de tipo regional.



Las mayores diferencias de carga hidráulica se distribuyen en el sector central del cordón costero con valores medios siempre positivos que van desde los 2 a los 4 m, y de 4 a 8 m en la zona afectada por las lagunas de oxidación de la planta de tratamiento.

Las diferencias de carga hidráulica indican que la recarga de las unidades profundas se produce por filtración vertical desde la capa freática. Esta condición permite suponer un incremento del flujo vertical en los sectores próximos a la divisoria de aguas. Lo cual es también significativo en el ámbito de la planta de tratamiento de efluentes donde la diferencia de carga hidráulica es máxima.

6.2 EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL FLUJO SUBTERRÁNEO

Un análisis de la secuencia de mapas de flujo para distintas fechas permite reconocer aspectos del comportamiento de la capa freática y la influencia que tienen en su configuración las condiciones naturales (recarga por precipitaciones) y antrópicas (explotación de agua subterránea y recarga artificial a través de una planta de tratamiento).

En los mapas N° 3 a 9 (Ver anexo) se muestra la secuencia seleccionada que en forma sucesiva incluye a la situación de febrero y agosto de cada año en el lapso 2012-2015.

El patrón descrito para la red de flujo media se mantiene en términos generales en relación a la presencia de una divisoria de aguas subterráneas en la parte central del cordón costero y los sentidos de flujo hacia la costa y hacia la llanura deprimida. En general en febrero se da una situación de profundización de los niveles freáticos y ello se refleja en la configuración de las redes de flujo. En particular existe una diferenciación entre el sector norte y el sur.

En el primer caso la divisoria de agua subterránea muestra mayores potenciales hidráulicos lo que da lugar a gradientes hidráulicos superiores en ambos sentidos de flujo. Las características morfológicas y la presencia de médanos carentes de vegetación favorecen una mayor recarga.

En el sector sur se observa una variación en la posición de la divisoria de agua que se encuentra próxima a la RP N°11 con gradientes hidráulicos sensiblemente menores hacia la costa y a su vez se reconoce un desplazamiento o retroceso de las curvas de 1 y 3 msnm hacia el continente. En este caso la presencia de la forestación y los distintos grados de urbanización disminuyen los excesos de agua con posibilidad de infiltración.

En la situación de febrero de 2012 (Mapa N° 3 en anexo), en el sur se reconocen bajos gradientes hidráulicos hacia la costa (entre 2 y 4 m/km) y un desplazamiento de las curvas de 3 y 1 msnm hacia el continente. En cambio en el norte la divisoria presenta valores más altos con mayores gradientes hidráulicos en ambos sentidos de flujos. En agosto de 2012 (Mapa N°4) las curvas equipotenciales de 3 y 1 m se desplazan hacia



el mar en el sector sur y siguiendo una configuración similar existe una mayor elevación de las divisorias en el sector central y norte. Ello ocurre a pesar que las precipitaciones alcanzaron en 2012 a sólo 693 mm.

En febrero de 2013 (Mapa Nº 5 en anexo) la equipotencial de 3 m repite el comportamiento del mismo mes de 2012 con un desplazamiento hacia el continente el cual es acompañado por un aumento del área correspondiente al intervalo entre las curvas de 1 y 3 msnm en relación con agosto de 2012. Esta situación trae aparejada una disminución de los gradientes hidráulicos hasta valores de 0,9 m/km en el sector sur. Sin embargo en este caso el desplazamiento de la equipotencial de 3 msnm se manifiesta de manera parcial en relación al mapa de febrero de 2012 a causa de un incremento de las precipitaciones (320 mm) en relación con el mismo período del año anterior (240 mm).

En agosto de 2013 (Mapa Nº6) existe un aumento de los gradientes hidráulicos a valores de 1,7 m/km con un ascenso generalizado de los niveles manifestado por el desplazamiento de la equipotencial de 3 msnm hacia el mar, la extensión hacia el sur de la equipotencial de 5 msnm y el incremento del área comprendida entre las curvas equipotenciales de 3 y 5 y de 5 y 7 msnm.

El ascenso de los niveles de febrero de 2014 (Mapa Nº7 en anexo) es consecuencia de las precipitaciones entre agosto de 2013 y febrero de 2014 (634 mm). En el norte del partido se puede apreciar la prolongación de la equipotencial de 5 msnm y el avance hacia el mar de la de 3 msnm resultando en un incremento del gradiente hídrico el cual alcanza los 3 m/km en dicho sector.

En agosto de 2014 se presentan los valores de cota hídrica más elevados de toda la serie y es el resultado de las precipitaciones acumuladas en forma casi continua durante 12 meses que alcanzaron a 1261 mm, superando la media para el área de estudio (906 mm). En el mapa Nº 8 (Anexo), se reconoce la continuidad norte sur en todo el partido de la equipotencial de 5 msnm, como así también el incremento del área comprendida entre las curvas de 7 y 9 msnm en la parte central del cordón dentro de la localidad de Pinamar. Los gradientes en este caso también reflejan dicha situación con valores de 4 y 4,3 m/km. Finalmente en febrero de 2015 (Mapa Nº9) se reconoce un marcado descenso de los niveles y gradientes hidráulicos (0,9 m/km) generando un desplazamiento de la equipotencial de 3 msnm y la retracción de la curva de 5 msnm.

Tal como fuera indicado los distintos patrones de comportamiento muestran la prevalencia de los procesos naturales ó de los procesos antrópicos en la variación de los niveles de agua subterránea. En general, los primeros se caracterizan por manifestarse de manera gradual y con alcances regionales, mientras que los segundos se producen de un modo abrupto y están restringidos a un sector específico.

Una de las particularidades de las redes de flujo influenciadas por la actividad antrópica se relaciona con cotas de flujo localmente elevadas en el sector centro-oriental del partido. Ello genera una deformación de las curvas equipotenciales las cuales pasan de una configuración del tipo planar a una cónica y cuyo radio de



influencia alcanza los 700m. Esta morfología se asocia al efecto del aporte desde la planta de tratamiento (Figura 6.4) particularmente durante los meses en los que existe un mayor caudal de agua tratada producto de la época turística.



Figura 6.4 Planta de tratamiento de efluentes cloacales del Partido de Pinamar (A) y sistema de impermeabilización (B).
(Fecha de la fotografía mayo de 2012)

Otra modificación de la red de flujo se vincula con la configuración y ubicación relativa de la divisoria de aguas subterráneas. En la figura 6.5 se muestra su posición en forma conjunta con el mapa topográfico y la distribución de las perforaciones de explotación a partir de las cuales se realiza el abastecimiento de agua potable.

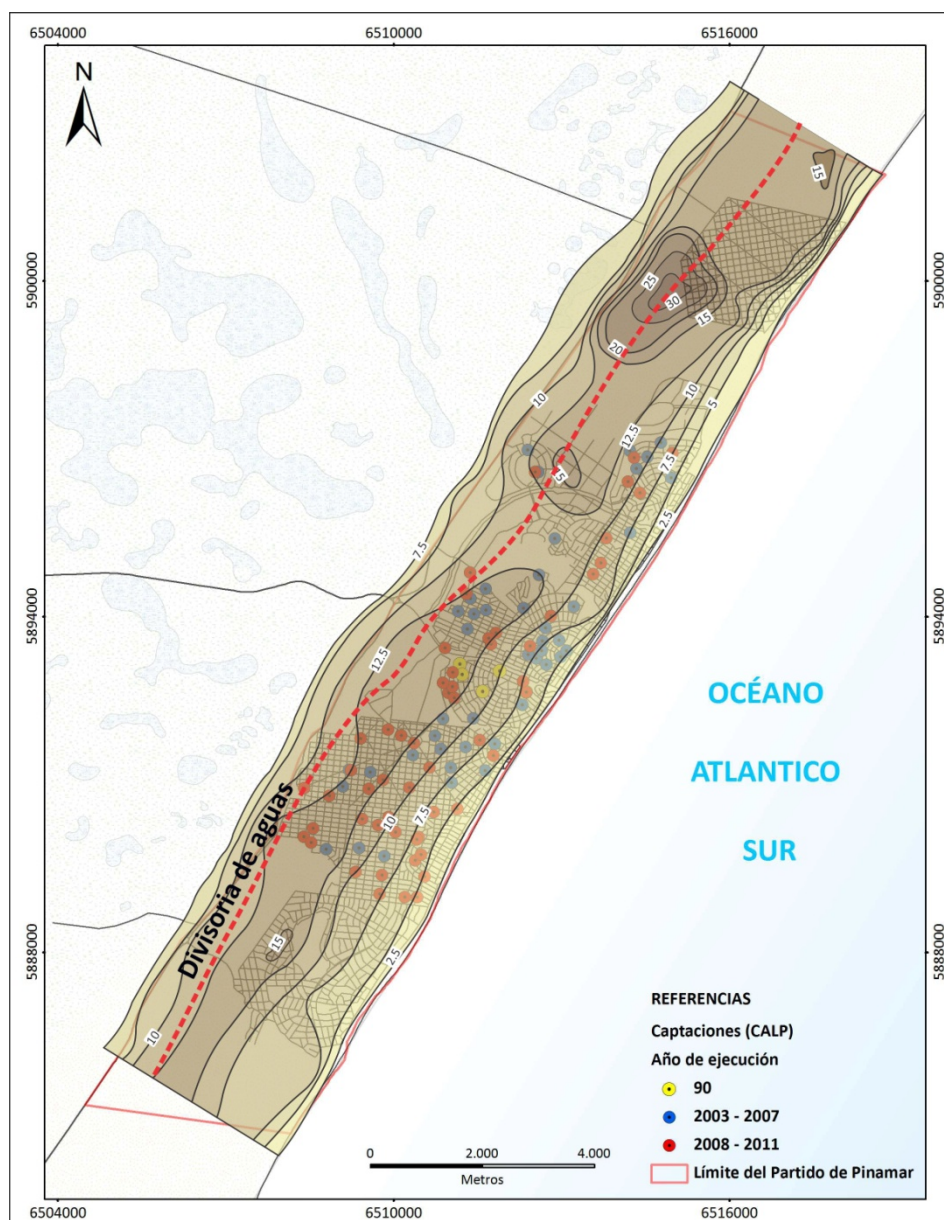


Figura 6.5 Relación entre la topografía, las perforaciones de explotación, y la línea divisoria de aguas.

El análisis permite advertir, el desplazamiento de la divisoria, como resultado del esquema actual de explotación en Ostende y Valeria del Mar el cual se concentra en el sector central del cordón. Actualmente, Cariló no cuenta con servicio de agua potable, de modo que la extracción del recurso se lleva a cabo mediante la instalación particular de perforaciones cuya profundidad es función de la posición del nivel freático. La mayor parte de los pozos ubicados en el sector centro-oriental de dicha localidad poseen una profundidad de captación no menor a 20 mbbp. Una de las consecuencias más visibles asociadas con el descenso de los niveles de agua subterránea en este sector se vincula con la modificación en los métodos de extracción el cual ha generado el progresivo desuso de ciertas prácticas como por ejemplo el bombeo mediante equipos centrífugos (cuya profundidad máxima de explotación no excede los 6-8 mbbp) por métodos de extracción a partir de bombas sumergibles.



Otros de los aspectos relacionados con la actividad antrópica, se vincula con la modificación de los gradientes hidráulicos o bien con la aparición de conos de depresión cuyo desarrollo se manifiesta localmente en ciertos sectores del partido. De acuerdo a lo informado por personal del ente prestador del servicio, en lo que refiere al funcionamiento de las bombas de extracción, éstas se activan de manera progresiva llegando al pico en la explotación durante enero, febrero y marzo, y son desactivadas al final de la temporada. Esta práctica genera una profundización de los niveles en las zonas de mayor densidad de perforaciones.

Para explicar este fenómeno se describe el mapa de flujo de febrero de 2012 (Mapa N° 3 en anexo), donde el desplazamiento de la equipotencial de 3 msnm en el sector sur, es acompañado en el este por el avance hacia el continente de la curva de 1 msnm generando una modificación local del flujo subterráneo. Una vez concluida la temporada turística el gradiente hídrico retorna a la condición de equilibrio y las curvas se disponen en forma paralela a la costa como se observa en el mapa de agosto de 2012.

En agosto de 2013 (Mapa N° 6 en anexo) se reconoce el desarrollo de un cono de depresión en el sector norte del partido (Pinamar norte) cuya cota mínima de -5 msnm genera a nivel local una deformación de la red de flujo y una consecuente inversión del sentido de flujo subterráneo. Esta modificación del gradiente hídrico es atribuible a la puesta en marcha de una obra de captación en la zona de las calles Penélope Sur y Fragata Victoria.

Un fenómeno de similares características se registró en febrero de 2014 en Valeria del Mar (Mapa N° 7 en anexo). En esta ocasión el proceso se vio favorecido por las escasas precipitaciones registradas durante todo 2013 (695 mm) generando la profundización general de los niveles. Los efectos del cono de depresión se detectaron en los pozos monitores P-26 y P-29 con valores de cota de -1,71 y -1,49 msnm respectivamente y cuya disposición permite estimar un radio de influencia de unos 800 m² aproximadamente.

6.3 FLUCTUACIONES DE NIVELES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Un análisis de las variaciones de los niveles de agua subterránea entre septiembre de 2011 y marzo de 2015 se generalizó mediante el agrupamiento 3 conjuntos de pozos en función de su posición geográfica den el cordón costero (“Oeste”, “Centro” y “Costero”).

La diferencia promedio entre los niveles mensuales máximo y mínimo es de 1,4 m. La mayor fluctuación se registra para el grupo central con 2,2 m, en tanto que para los sectores oeste y costero dicha oscilación es del orden de 1 m.

En la figura 6.7 se muestran la evolución de los niveles medios mensuales. La interpretación permite advertir una serie de comportamientos cíclicos, como por ejemplo el descenso de los niveles durante los meses de verano y la correspondiente recuperación en los de invierno.

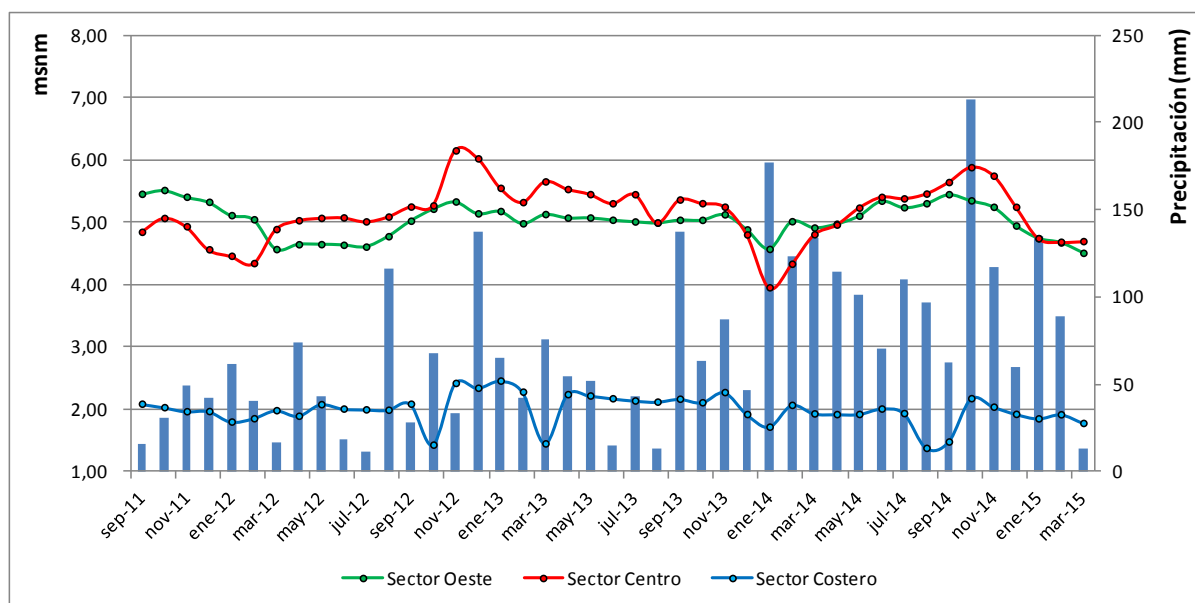


Figura 6.7 Registros de nivel medios para los sectores Oeste, Centro y Costero.

En los niveles de agua subterráneas es posible reconocer los efectos de las variaciones naturales y aquellas asociadas a la actividad del hombre. En términos generales los mayores descensos se registran durante enero y febrero en forma coincidente con los períodos de mayor evapotranspiración y demanda hídrica. Otro de los aspectos relevantes se relaciona con las diferencias en las magnitudes de ascenso y descenso de los niveles para un mismo período. Esta situación se advierte al analizar en forma cualitativa la variación abrupta de los niveles para el grupo central. Este comportamiento se verifica al comparar los descensos entre septiembre de 2013 y enero de 2014. En este caso la diferencia total fue 1,4 m para el grupo central, mientras que en los sectores oeste y costero lo hicieron con 0,4 y 0,3 m respectivamente. Esta situación se repite durante la recuperación registrada para noviembre de 2012, y también para la profundización entre enero y febrero de 2015.

Este fenómeno puede ser explicado en primer término por el aumento de la demanda hídrica durante enero, febrero y marzo, y en segundo por el esquema de explotación que se emplea para satisfacer dicha demanda. Tal como se pudo observar en la figura 6.2, el sector de mayor explotación se ubica preferentemente en la zona central del cordón, con descensos significativos que en algunos casos alcanzan hasta 8 m. Esta respuesta es producto de la actividad extractiva desarrollada de manera intensa y sectorizada en un período de tiempo acotado a unos 2 o 3 meses. De este modo la variación de los niveles en el sector central depende de la puesta en marcha de las captaciones que abastecen la red de agua potable.

El análisis de las variaciones en las perforaciones posibilita reconocer la influencia de las coberturas y actividades relacionadas con el uso del recurso hídrico.



Para explicar esta situación se muestran los ejemplos de pozos que han sido seleccionados por representar un comportamiento típico en su área de influencia (Ver Figura 2.23, Cap.2).

El pozo FP5 en Montecarlo (Figura 6.8), se encuentra en un área caracterizada por una vegetación arbórea saltuaria, caminos de arena y la ausencia de pozos de explotación. La única actividad antrópica se vincula con un balneario particular de escasa afluencia turística y cuya actividad se restringe principalmente al mes de enero.

En este caso las fluctuaciones de los niveles freáticos se manifiestan con cambios suaves y variaciones mensuales entre 8 y 10 cm siendo la diferencia entre el valor máximo y mínimo de 44 cm para toda la serie registrada. La correspondencia entre los valores de precipitación y los excesos hídricos se verifica con la profundización del nivel entre septiembre de 2011 y la mayor parte de 2012, así como también el ascenso durante 2014, como consecuencia de las mayores precipitaciones registradas para ese año.

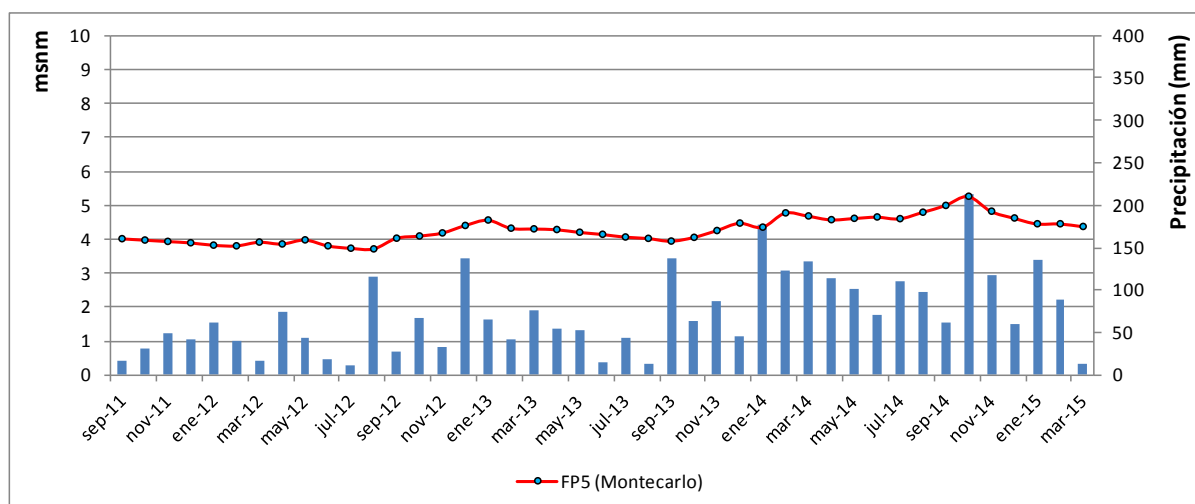


Figura 6.8 Evolución del nivel freático para el pozo FP5 de la localidad de Montecarlo.

En el caso del pozo OF1 (Figura 6.9), que está situado en el sector central del cordón en Pinamar (Norte). El sector presenta una densa cobertura arbórea (coníferas), que se erige sobre una superficie de acumulación de las hojas aciculares vulgarmente conocidas como “Pinocha”. El análisis de los registros permite intuir el efecto regulador del nivel por parte de la forestación. En este sentido se sospecha que dicho comportamiento se debe al rol que cumple la forestación como amortiguador de la humedad generando ascensos y descensos más suaves.

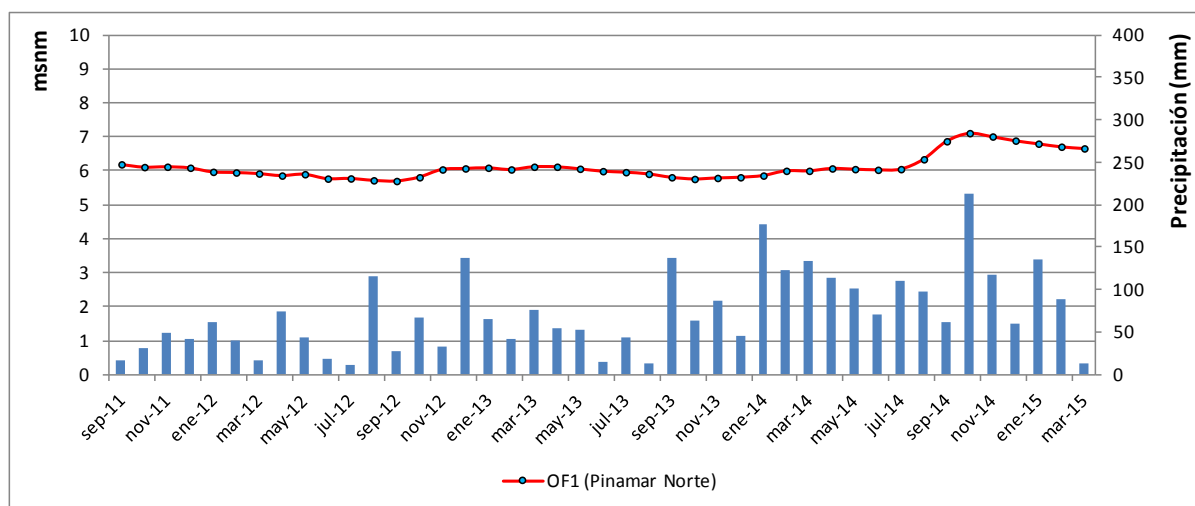


Figura 6.9 Evolución del nivel hidráulico para el pozo OF1 de la localidad de Pinamar (Norte).

La relación entre las precipitaciones y la cobertura arbórea se puede evaluar al comparar las variaciones máximas del nivel para el período septiembre de 2011 y junio de 2014 con las registradas entre julio y noviembre de 2014. Esta situación permite identificar, que para que se produzcan cambios significativos del nivel fue necesaria la acumulación de lluvias constante desde enero de 2014 para satisfacer la demanda hídrica de la vegetación y un evento de lluvias máximas como el registrado en durante en octubre de 2014.

De este modo la humedad del suelo producto de la cobertura arbórea actúa como un amortiguador de las variaciones del nivel, en donde en las épocas de menores precipitaciones favorece la existencia de excesos ante lluvias menores, mientras que en los períodos en los períodos húmedos retiene las precipitaciones atenuando así el ascenso de los niveles.

Diferente es el caso del pozo P14 (Figura 6.10) ubicado en un sector costero de Pinamar donde el uso del suelo se ha destinado a la construcción de casas de veraneo cuya mayor demanda hídrica se produce durante enero y febrero. Las fluctuaciones de los niveles indican valores medios de 10 cm y máximas no mayores a los 30 cm, las cuales se producen mayormente durante enero.

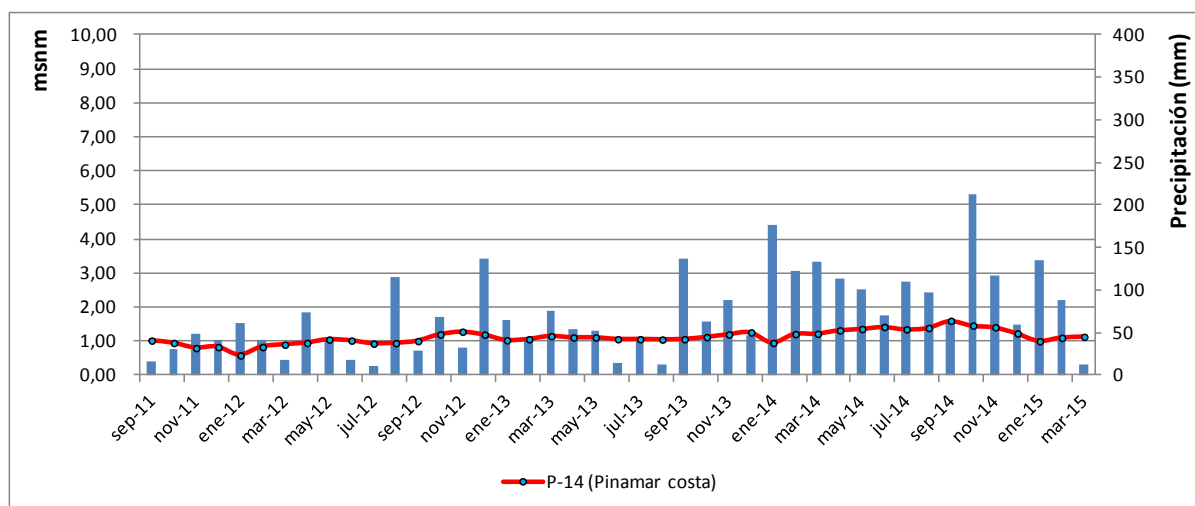


Figura 6.10 Evolución del nivel hidráulico para el pozo P14 situado en el sector costero de Pinamar.

La perforación F-40 (Figura 6.11) se ubica en el casco urbano más antiguo de Pinamar que presenta una típica urbanización con calles asfaltadas, pozos de explotación que alimentan a la red de distribución y la existencia de una red cloacal. La demanda hídrica en este se manifiesta de manera constante durante todo el año como consecuencia de la permanencia estable de la población en esta zona. Las fluctuaciones muestran valores máximos que superan los 3 m mostrando el comportamiento típico para un pozo ubicado en una ciudad.

Tal como se observa en la figura 6.11 la profundización del nivel resulta independiente de las precipitaciones. A su vez se reconoce la sensibilidad del sistema subterráneo dada la respuesta a los pulsos extractivos que el conjunto de explotaciones generan en las perforaciones en forma individual o grupal.

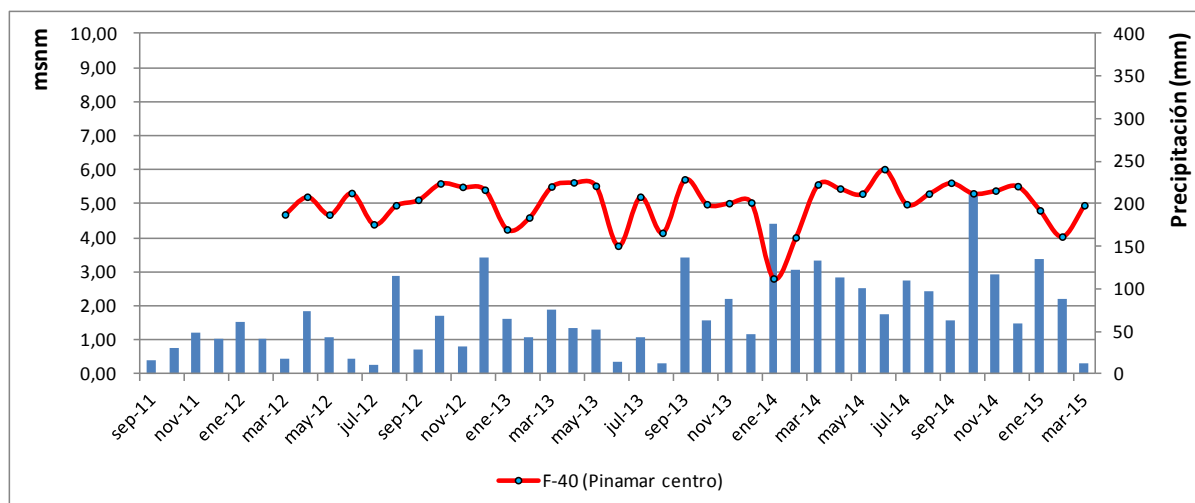


Figura 6.11 Evolución del nivel hidráulico para el pozo F40 ubicado en el casco urbano de Pinamar.

Los pozos P31 y P24 están ubicados en los sectores centrales de las localidades de Carilo y Valeria del Mar respectivamente.



En el caso de Cariló, la cobertura es tupida en una variada vegetación arbórea (principalmente coníferas), la cual se dispone formando una densa red de captura de las precipitaciones. El uso del suelo se vincula con negocios inmobiliarios como consecuencia de la fuerte actividad turística que se registra durante todo el año y principalmente en verano. El abastecimiento de la demanda hídrica que este sector genera, se satisface, en forma particular a partir de perforaciones cuya profundidad oscila entre los 20 y 25 m y que alumbran los niveles acuíferos de la hidrofacies C y E. La variación del nivel permite verificar variaciones medias mensuales de 0,25 m y diferencias de nivel máximas de hasta 3 m, las cuales se manifiestan principalmente durante enero, febrero y marzo, mientras que la recuperación se produce durante los meses restantes en función de la ocurrencia de las precipitaciones (Figura 6.12).

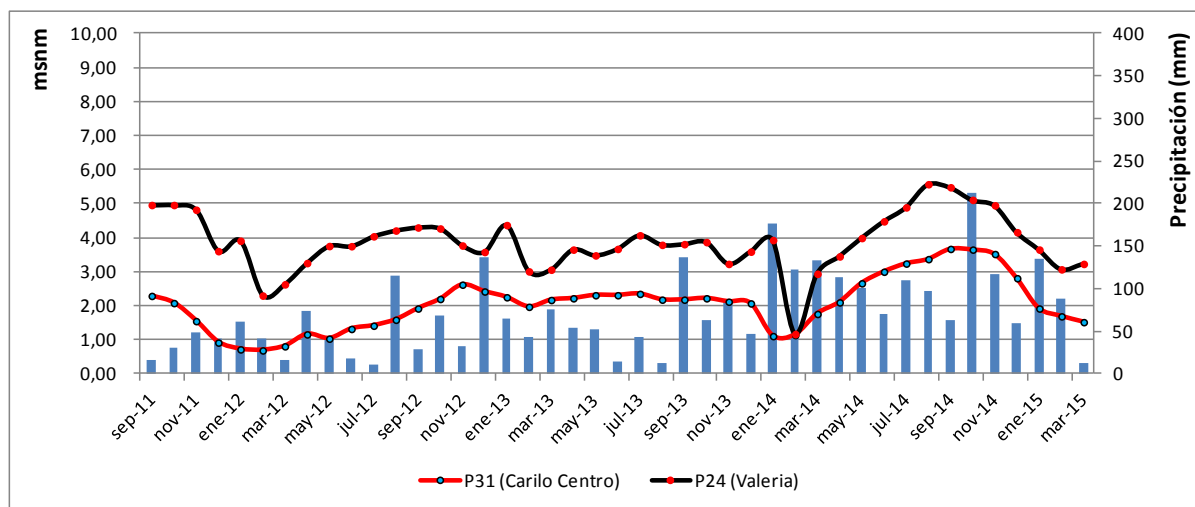


Figura 6.12 Evolución del nivel hidráulico para los pozos P31 (Carilo) y P24 (Valeria del Mar).

En Valeria del Mar, en cambio, la cobertura es de una vegetación arbórea distribuida de forma menos densa que la observada Cariló, calles de material y arena, casas de veraneo y un sector hotelero de mediana envergadura. A diferencia de Cariló en Valeria del Mar el abastecimiento de agua potable es realizado por la CALP mediante el bombeo a partir de perforaciones que, además de abastecer a esta localidad, constituyen un punto de apoyo en el abastecimiento regional. Las variaciones máximas alcanzan 4,5 m y la media mensual 0,5 m. Ambas curvas guardan ciertas similitudes aunque en Valeria de Mar existen abruptas oscilaciones mensuales durante todo el año, consecuencia de las variaciones en la explotación que se realiza en este sector (Figura 6.12).

Al igual que en el caso de Pinamar (Norte), se verifica una amortiguación de las variaciones debido a la vegetación arbórea. En Cariló la mayor densidad de árboles actúa como factor moderador de la humedad del suelo y del comportamiento de los niveles, a diferencia de Valeria del Mar donde con una menor densidad de vegetación los efectos de la explotación son más evidentes.



En el pozo P34 en Cariló, se encuentra a unos 300 m del mar por detrás de la duna de playa. Aquí, a diferencia de lo que ocurre en el centro de Cariló las diferencias de nivel máximas no superan los 0,75 m en tanto que las variaciones medias mensuales rondan los 15cm, condición que permite identificar nuevamente el vínculo con la precipitaciones como así también una baja explotación del recurso en este sector.

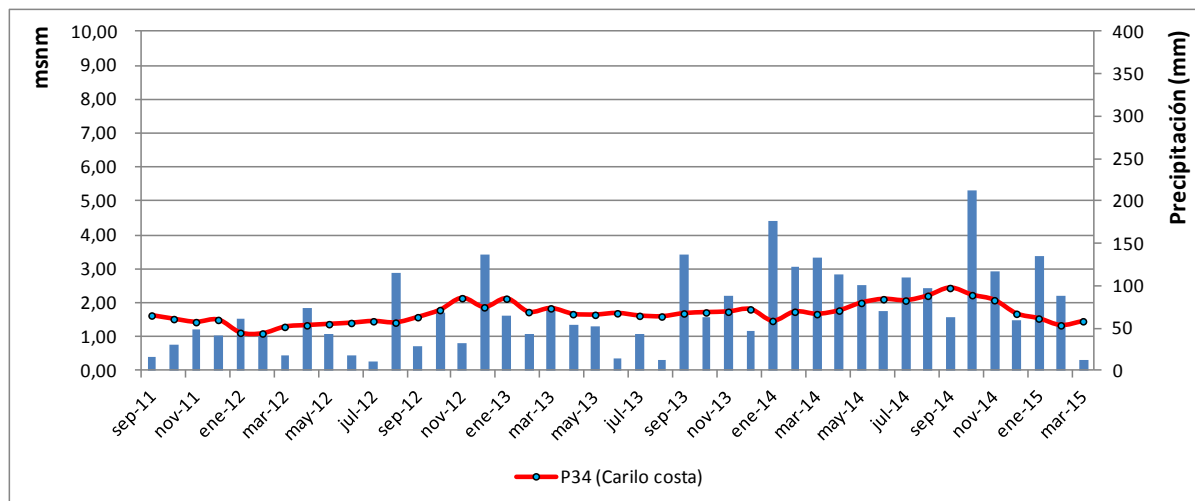


Figura 6.13 Evolución del nivel hidráulico para el pozo P34 situado en el sector costero de Carilo.

En la figura 6.14 se muestran las fluctuaciones de los niveles en el pozo F42 ubicado en las cercanías de la planta de tratamiento de efluentes líquidos cloacales. Este registro presenta los valores de cota más alta de todo el partido representando a una zona de divisoria. Se reconocen variaciones mensuales que alcanzan los 80 cm de un mes a otro como el caso registrado entre diciembre de 2012 y enero de 2013. Esta condición refleja la influencia que dicha planta ejerce sobre el sistema subterráneo a partir de un efecto de la recarga artificial.

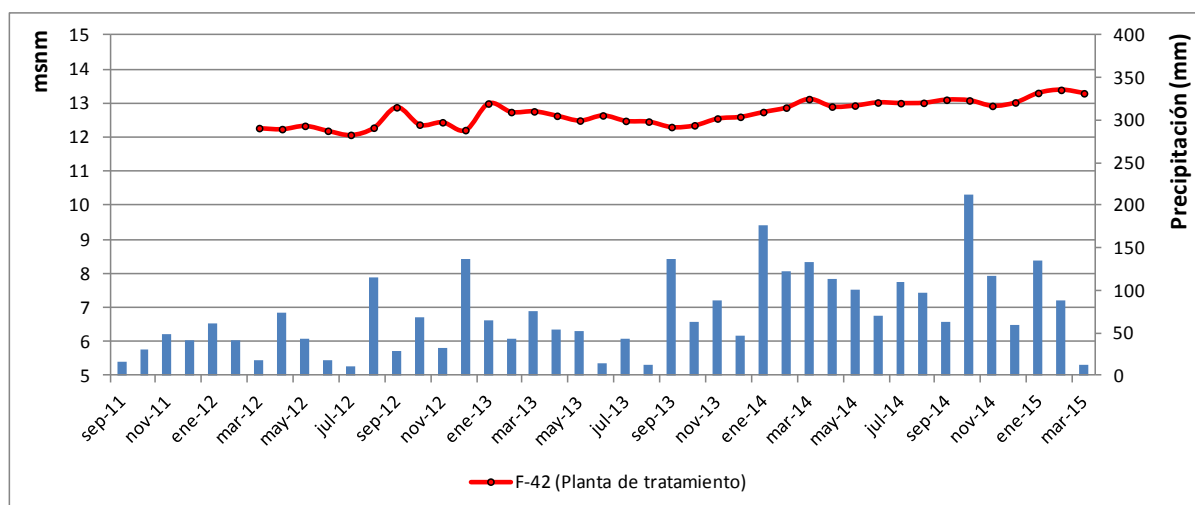


Figura 6.14 Evolución de niveles para el pozo monitor F42 ubicado en las cercanías de la planta de tratamiento.



6.4 VARIACIONES AREALES DE NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA

Los mapas de isovariación de los niveles de agua subterránea en distintos períodos apoyan el análisis de la secuencia de los mapas de flujo subterráneos semestrales descriptos.

A modo de ejemplo se presentan los mapas de isovariación semestrales y trimestrales resultantes para el intervalo comprendido entre agosto de 2013 y febrero de 2014, y entre noviembre de 2014 y febrero de 2015 respectivamente (Mapas Nº 10 y 11 en anexo). Ambos mapas muestran variaciones negativas en el sector sur y positivas en el centro y norte del partido. En el mapa semestral las variaciones negativas son de -1 m y se distribuyen entre Ostende, Valeria del Mar y Cariló, en tanto que en el trimestral las fluctuaciones negativas alcanzan los -2 y -3 m en Cariló y -1 m en Valeria del Mar. De este modo y en términos generales, un 55 a 60% del partido muestra ascenso de los niveles entre agosto y febrero, mientras que el restante 40% presenta indicios de profundización de la capa freática durante el mismo período. Este comportamiento refleja el grado de compromiso que presenta el acuífero en algunos sectores del partido el cual es consecuencia de la sectorización de la demanda hídrica.

6.5 EVOLUCIÓN DE NIVELES EN LA CAPA FREÁTICA Y EN UNIDADES MÁS PROFUNDAS

Con el fin de evaluar la relación existente entre los niveles someros y los profundos (Figura 6.15) se efectuó un análisis comparativo de la evolución de los niveles para cada par perforaciones (Figura 6.18) durante el período monitoreado. El comportamiento de los niveles medidos para estos pares ha sido representado en las figuras 6.16 y 6.17.

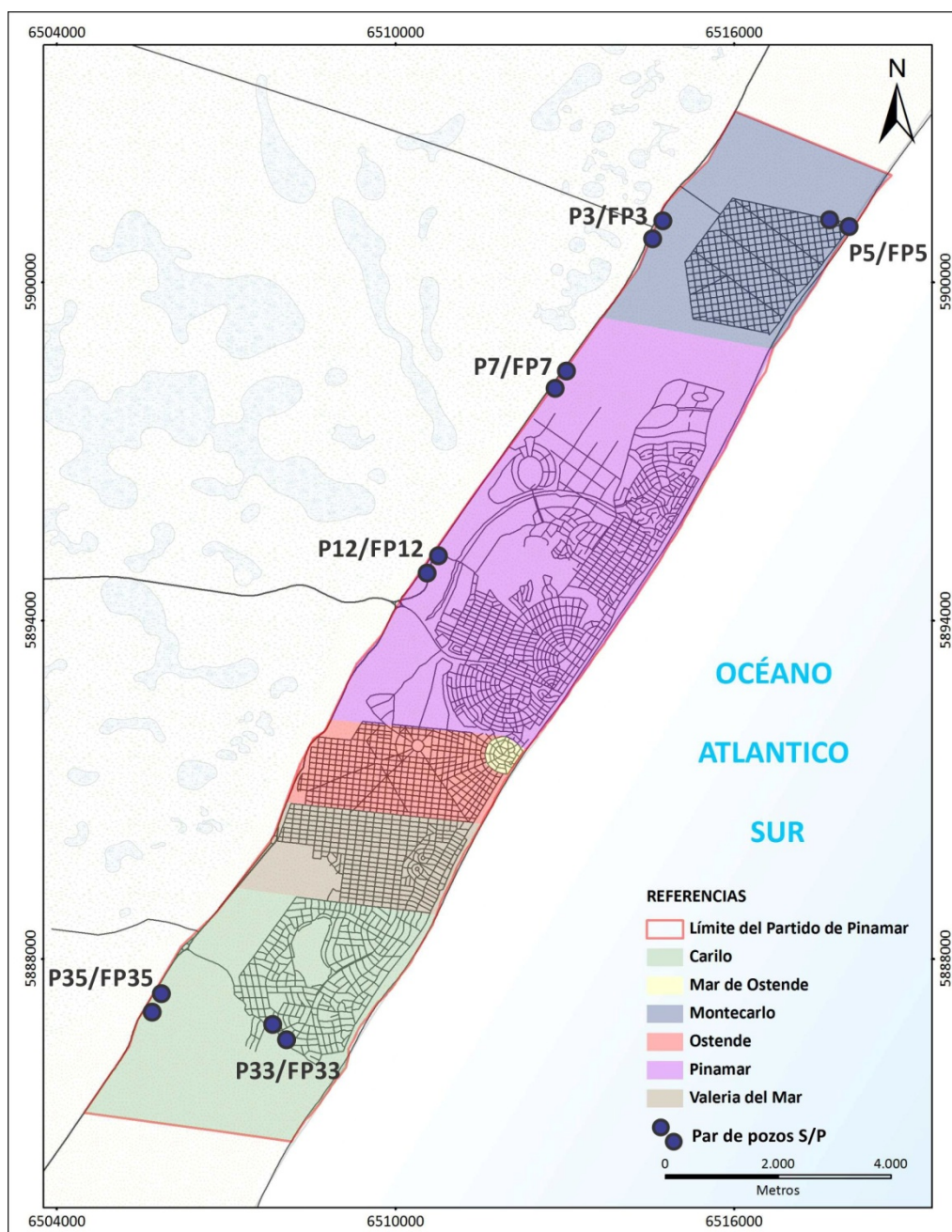


Figura 6.15 Ubicación de los pares de perforaciones someras/profundas dentro del partido de Pinamar.

En todos los casos, el nivel freático es menos profundo indicando un sentido de flujo vertical descendente. Se reconoce una correspondencia entre las curvas de ascenso y descenso aunque existen diferencias en las magnitudes siendo siempre menor esta variación en los pozos del nivel más profundo. Para ejemplificar esta situación se analizarán las magnitudes de ascenso de los niveles entre enero y febrero 2014 y aquellos registrados durante agosto y septiembre de 2014 en los pares P7/FP7 y P12/FP12.

En febrero se observa que, luego de una precipitación mensual de 123 mm, se registra ascenso de 0,26 y 0,46 cm con respecto al mes anterior para el pozo P7 y FP7 respectivamente. Por su parte la diferencia intermensual para el par P12/FP12 fue de 0,18 cm para el pozo más profundo y de 0,74 cm para el somero.

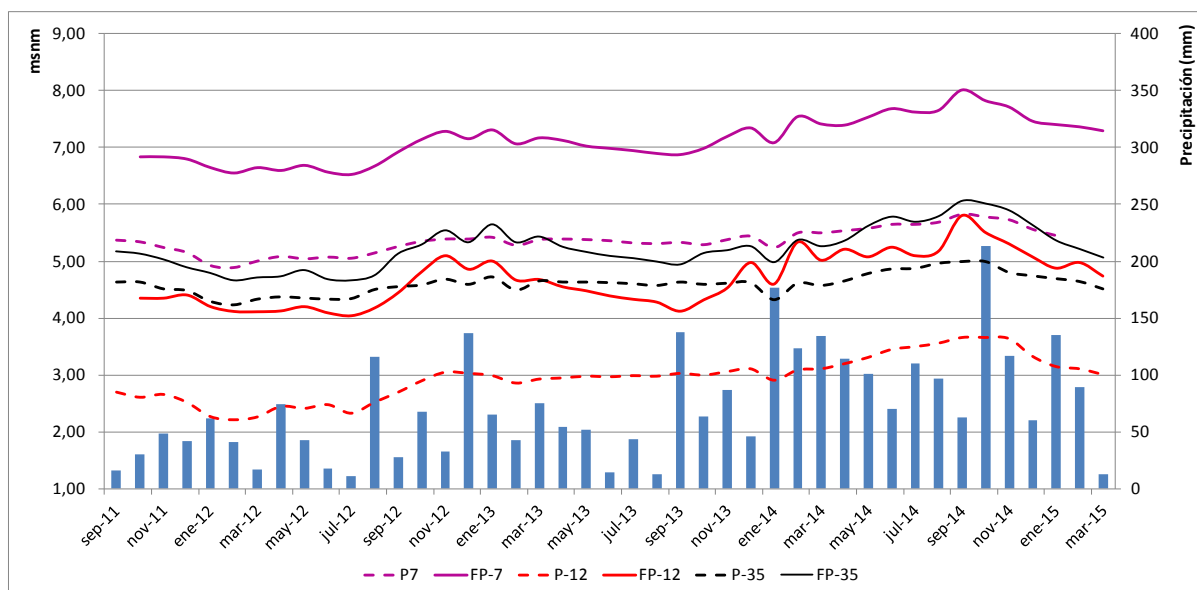


Figura 6.16 Evolución de niveles para los pares someros - profundos (Pares P7/FP7, P12/FP12 y P35/FP35). Se emplea trazo continuo para el pozo somero y discontinuo para el profundo.

El mismo patrón de comportamiento se observa en la variación mensual entre agosto y septiembre de 2014. En este caso se reconoce que para una precipitación mensual de 62,4 mm los ascensos registrados para el par P7-FP7 fueron de 0,14 y 0,36 cm respectivamente. Lo mismo ocurre para el par P12/FP12 con valores de 0,10 y 0,63 cm para el más y menos profundo respectivamente.

En ambas situaciones se observa que, ante un mismo evento de precipitación, la diferencia con respecto al mes anterior en pozo somero supera en 2 a 6 veces al más profundo.

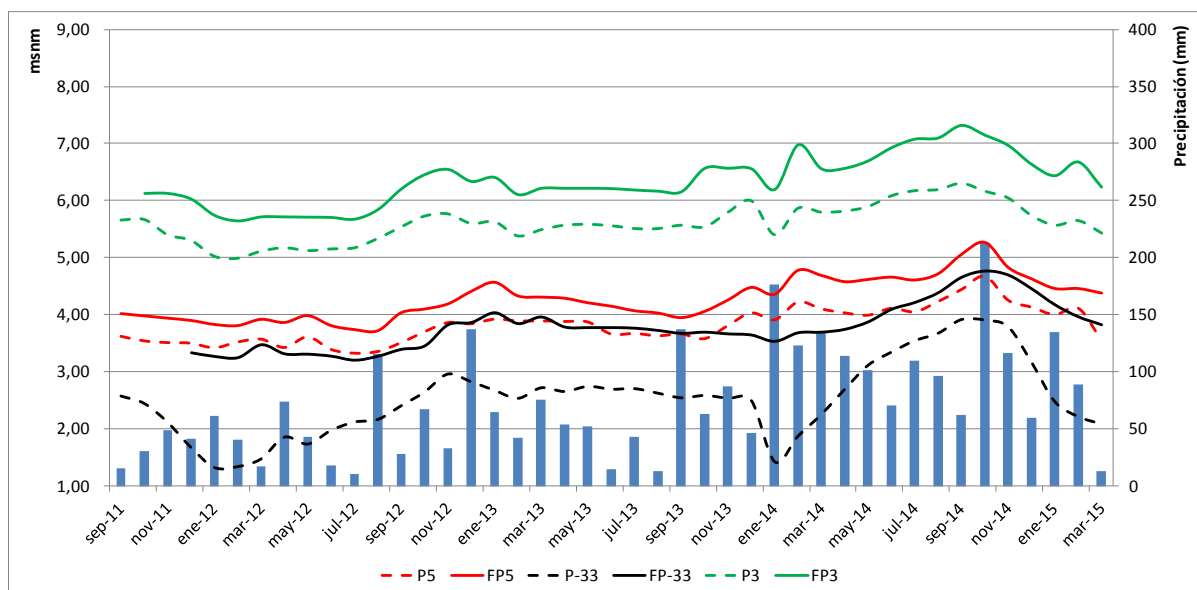


Figura 6.17 Evolución de niveles para los pares someros - profundos (Pares P5/FP5, P33/FP33 y P3/FP3). Se emplea trazo continuo para el pozo somero y discontinuo para el profundo.

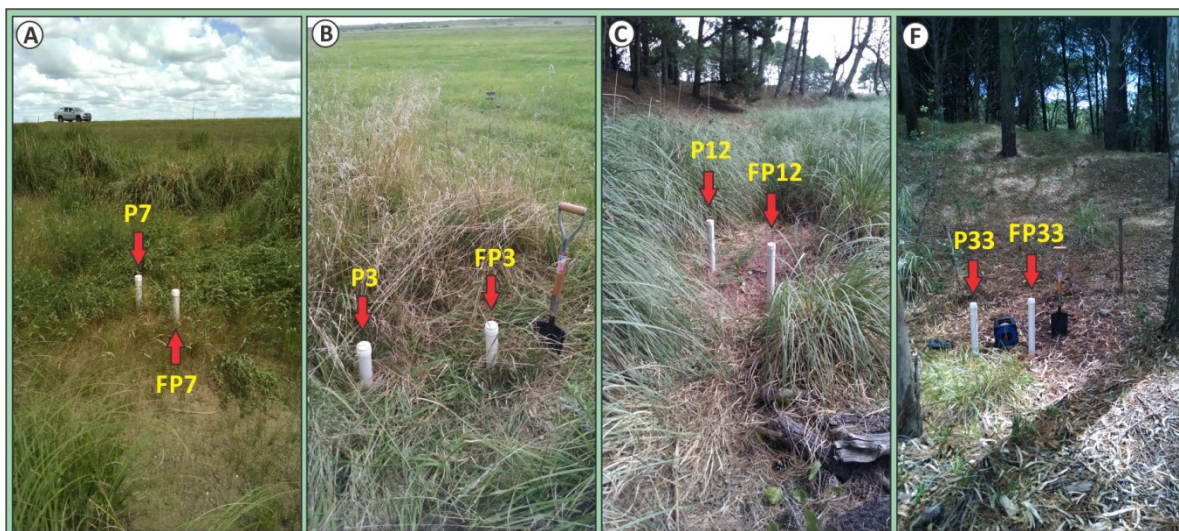


Figura 6.18 Ubicación y esquema de los pares someros y profundos en las localidades de Pinamar Norte (A), Montecarlo (B), Pinamar (C) y Carilo (D).

Esta característica también se evidencia cuando se analizan los datos con un paso de tiempo menor (horario) (Figura 6.19). Se determinó un tiempo de retardo de 2 a 3 horas entre el evento de precipitación y el ascenso del nivel. El ascenso se produce de manera abrupta y se atenúa en la medida que no se produzcan más precipitaciones. La estabilización de los niveles se produce luego de al menos 24 a 48 horas dependiendo de la intensidad y duración del evento lluvioso.

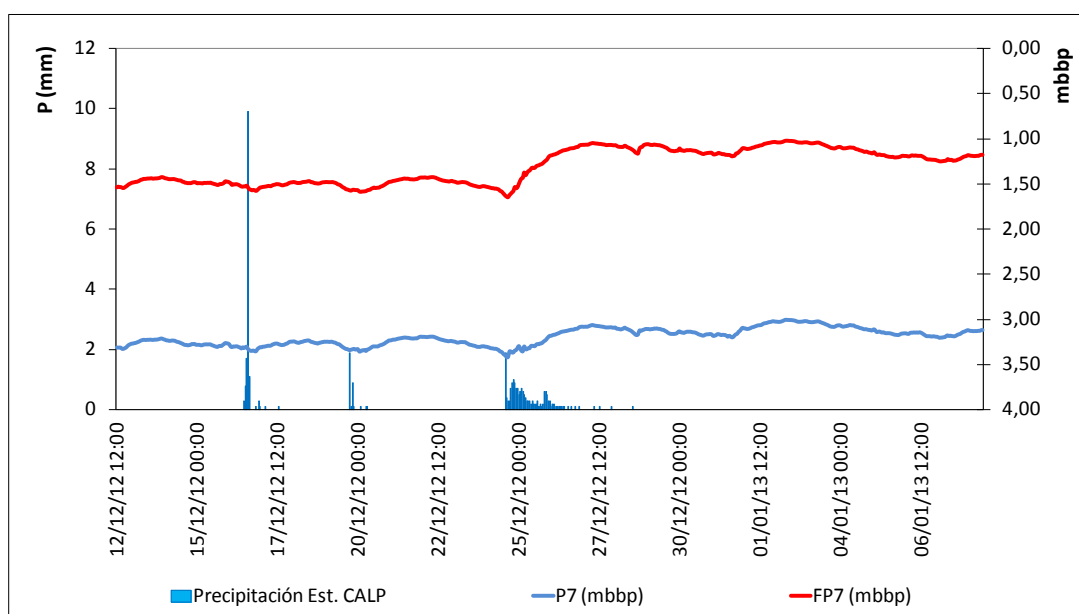


Figura 6.19 Evolución de niveles horarios para el par somero-profundo para el período 12/12/12 al 06/01/2013.

Con un ejemplo de variaciones horarias se caracteriza la diferencia en las magnitudes de ascenso de los niveles somero y profundo. Un evento de una leve precipitación de 18 mm ocurrido entre las 14 horas del día 24/12/2012 y las 21 horas del 26/12/2012, produjo un ascenso de los niveles de 59,6 y 34,7 cm



respectivamente. Sin modificaciones significativas en la explotación la respuesta tuvo su pico de ascenso el 27/12/2012 a las 7 hs. Se advierte una similitud en las variaciones medidas para ambos casos.

En la figura 6.20, 6.21 y 6.22 se han representado los registros mensuales para los pares en el período septiembre de 2011 - marzo de 2015. Adicionalmente se ha incluido un esquema simplificado del subsuelo, indicándose las hidrofacies comprendidas en cada caso como así también la posición relativa entre cada par. Las variaciones de los niveles permiten diferenciar tres tipos de comportamientos los cuales responden a un control hidrogeológico.

El primero de ellos (Casos I-Pinamar Norte, II-Montecarlo y III-Montecarlo) se caracteriza por presentar curvas similares tanto en forma y curvatura como en magnitudes de ascenso y descenso manteniendo la misma relación a lo largo del tiempo. De este modo los factores influyentes muestran una conexión directa en ambos casos para los ascensos durante el invierno y de descensos durante el verano.

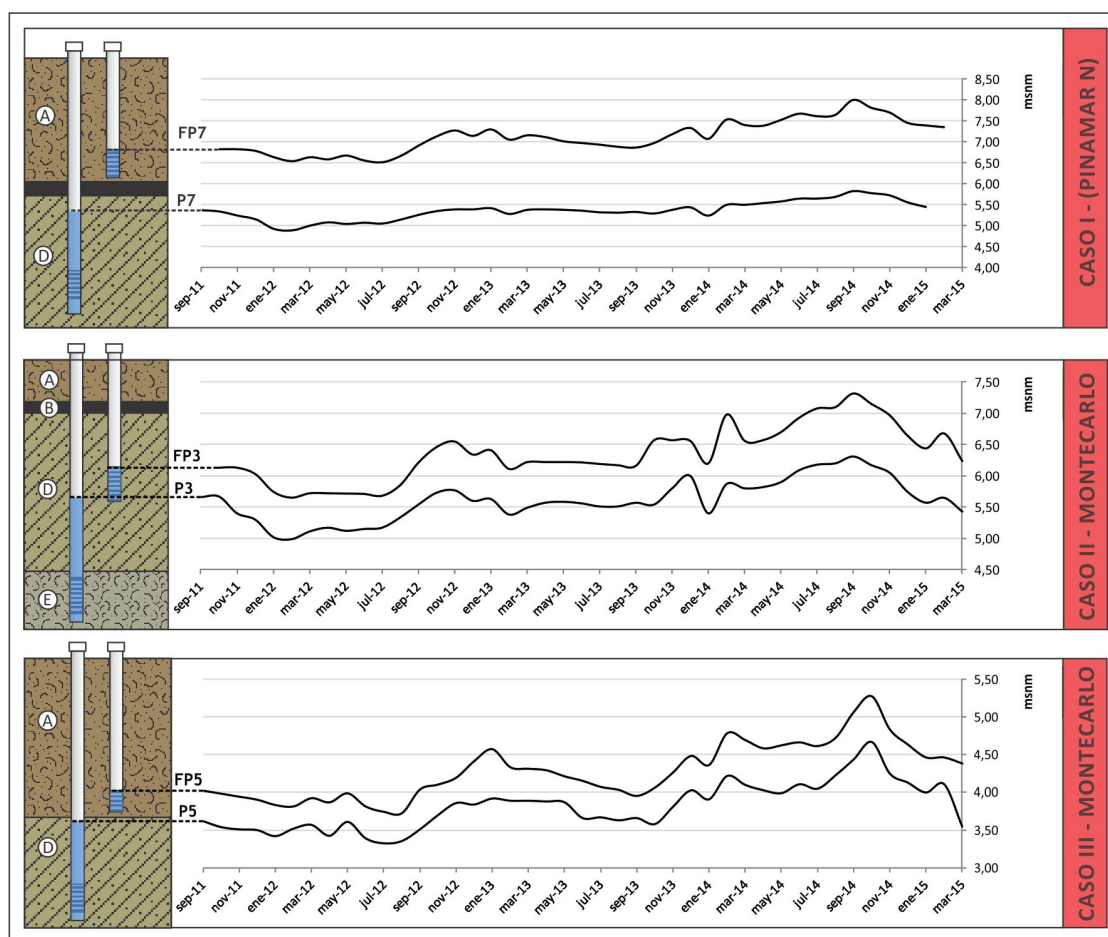


Figura 6.20 Evolución de niveles horarios para los pares somero-profundo P7/FP7; P3/FP3 Y P5/FP5 para el período comprendido entre las fechas 09/12 al 03/2015.

El segundo tipo de comportamiento (Caso IV - Pinamar) las variaciones responden a diferencias de energía entre planos equipotenciales. La desviación entre ambos niveles se hace evidente en la diferencia entre las



magnitudes ascenso y profundización de ambos niveles. En el caso particular de P12/FP12, existen pequeñas oscilaciones en el nivel mas somero durante los meses más cálidos que no afectan con la misma intensidad al segundo (área celeste de la figura 6.21).

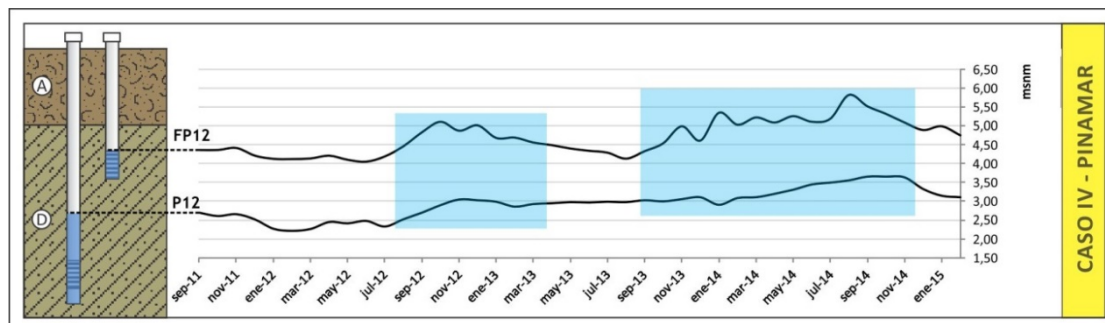


Figura 6.21 Evolución de niveles horarios para el par somero-profundo P12/FP12 para el período comprendido entre las fechas 09/12 al 03/2015. (El área celeste hace referencia al período citado en el texto).

En el tercer tipo (Figura 6.22) se advierte que, durante los meses de mayor demanda hídrica (temporada turística), existen ligeras desviaciones entre ambos niveles. En los casos V-Carilo y VI-Cariló, la amplitud existente entre ambas curvas no solo tiende ampliarse durante los meses de verano y a acercarse durante los meses más fríos sino que en algunos casos no guardan relación alguna indicando la independencia en cuanto a los factores que afectan a uno y otro nivel.

Esta condición se hace evidente solo en los casos en los que las arcillas grisáceas de la hidrofacies B se encuentran presentes mostrando el retardo que este nivel ejerce en el movimiento vertical de agua sobre los niveles subyacentes. En el caso VI esta situación se ve acrecentada por la explotación intensiva que se realiza sobre el nivel acuífero más profundo (hidrofacies E) en Cariló debido a la depresión generalizada que actualmente posee el nivel más somero limitando las posibilidades de explotación de este último.

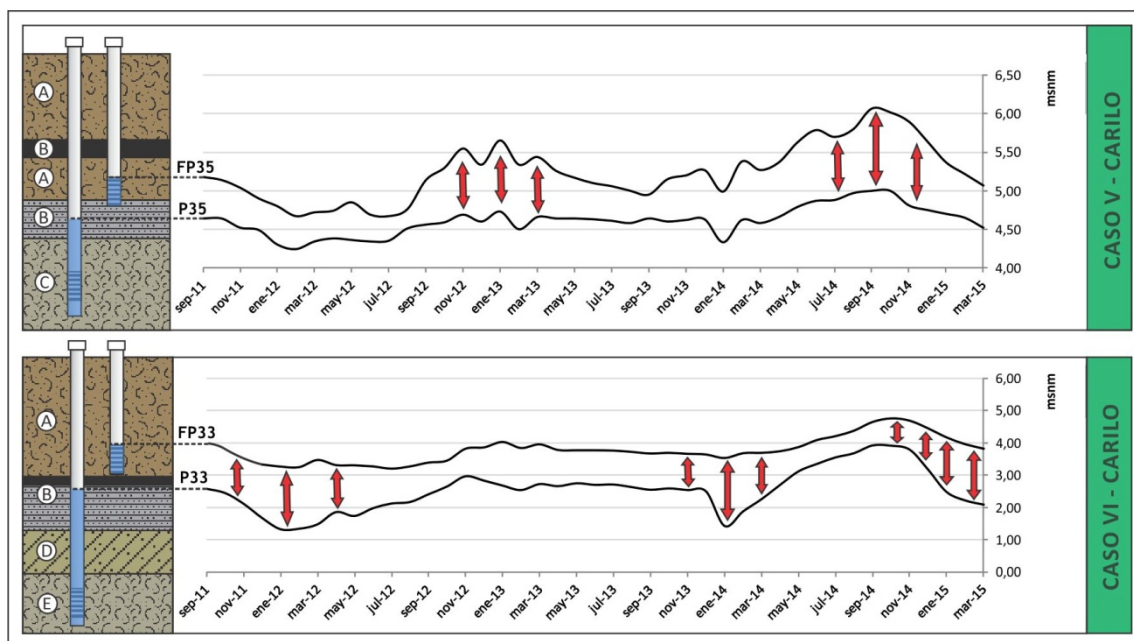


Figura 6.22 Evolución de niveles horarios para los pares somero-profundo P35/FP35 y P33/FP33 para el período comprendido entre las fechas 09/12 al 03/2015 (Las flechas rojas indican la desviación entre ambos comportamientos)

6.6 ESTIMACIÓN DE VARIACIONES EN LA RECARGA

En la figura 6.23 se han representado los valores de recarga obtenidos a partir de los mapas de isovariación realizados en forma trimestral aplicando el método de las variaciones freáticas, atribuyendo una porosidad específica para el medio de 0,15 (hidrofacies A). En los primeros 3 trimestres de 2012 el sistema manifiesta una recarga total de $9,77 \text{ hm}^3$, mientras que se registra un agotamiento en coincidencia con la máxima afluencia turística de diciembre, enero y febrero. Durante el trimestre comprendido entre febrero y mayo de 2013 se estima una recarga de $3,65 \text{ hm}^3$, mientras que en el trimestre posterior existe una disminución en las reservas ($-4,01 \text{ hm}^3$) mostrando un agotamiento del sistema como consecuencia de las escasas precipitaciones registradas en 2013 (Figura 6.24 y de la descarga natural del sistema hacia el mar. Para los 4 trimestres posteriores se produjo un incremento en la reservas a excepción del período noviembre-febrero de 2014 en donde la demanda hídrica es contrarrestada por las precipitaciones ($288,1 \text{ mm}$) generando un ligero agotamiento ($0,21 \text{ hm}^3$). Para los dos últimos trimestres se obtuvieron valores de agotamiento con un máximo de $-1,0 \text{ Hm}^3$ para el anteúltimo de los períodos.

La recarga promedio anual para el período 2012-2014 estimada mediante el método de las variaciones de nivel es de $5,1 \text{ Hm}^3$, lo cual se encuentra en el orden de magnitud con los valores de excesos de agua obtenidos a partir de los balances hídricos resueltos a partir de las metodologías de estimación de la evapotranspiración.

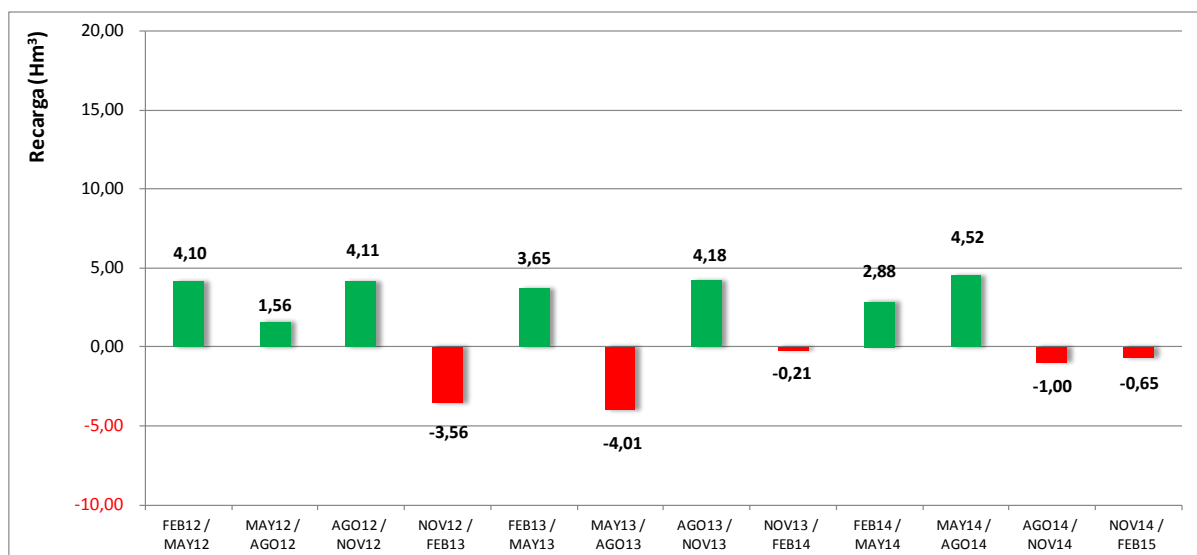


Figura 6.23 Valores de recarga obtenidos en forma trimestral entre los años 2012 y 2015.

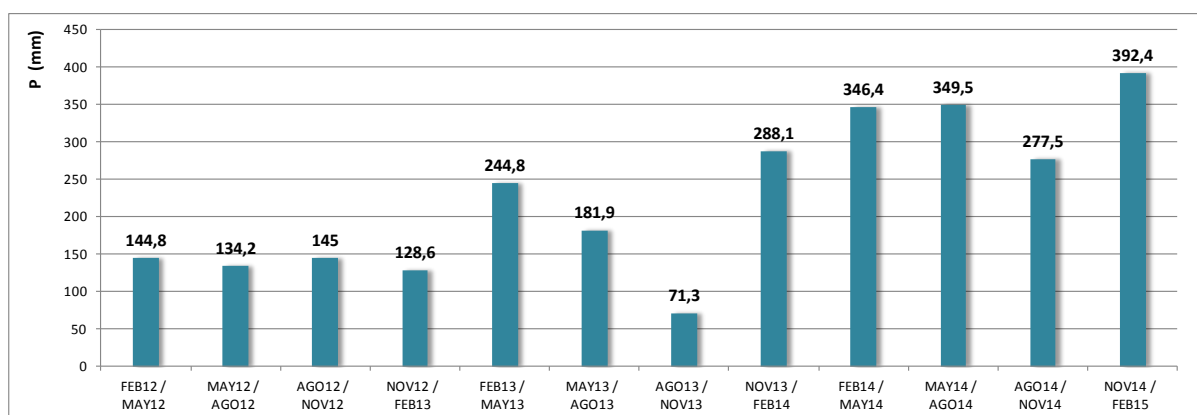


Figura 6.24 Valores de precipitación para los trimestres evaluados.

6.7 ANALISIS DE LOS POZOS DE EXPLOTACION

Con el objeto de evaluar el comportamiento de los niveles de agua subterránea en las perforaciones de explotación que alimentan al sistema actual de distribución de agua potable se seleccionaron 5 captaciones ubicadas en Pinamar, Ostende y Valeria del Mar.

En términos generales se trata de perforaciones construidas en acero y P.V.C con diámetros entre 6 y 12 pulgadas y profundidades que alcanzan los 20 y 25 m. Los equipos están dotados de un equipo clorador cuya dosis es equivalente 1 ppm de cloro activo. Todas las perforaciones se encuentran conectadas a un único sistema de distribución el cual se compone de cañerías de PVC y asbesto cemento.



Figura 6.25. Perforaciones de explotación que alimentan al sistema de abastecimiento en la localidades de Pinamar (A), Valeria del Mar (B y C), y Cariló (D).

Los caudales de producción promedio se encuentran entre los 12 y los 25 m³/h en función del equipamiento instalado en tanto que su ubicación es función de los sectores que presentan una mayor demanda.

El bombeo se activa progresivamente de acuerdo a la demanda llegando al pico en enero, febrero y marzo. La red de abastecimiento opera al 30% durante la época invernal debido al menor consumo y en verano se encuentra funcionando a pleno.

En la figura 6.26 se muestran las variaciones de los niveles en los pozos de explotación seleccionados. Se advierte un patrón irregular con abruptos ascensos y descensos relacionados con la operación.

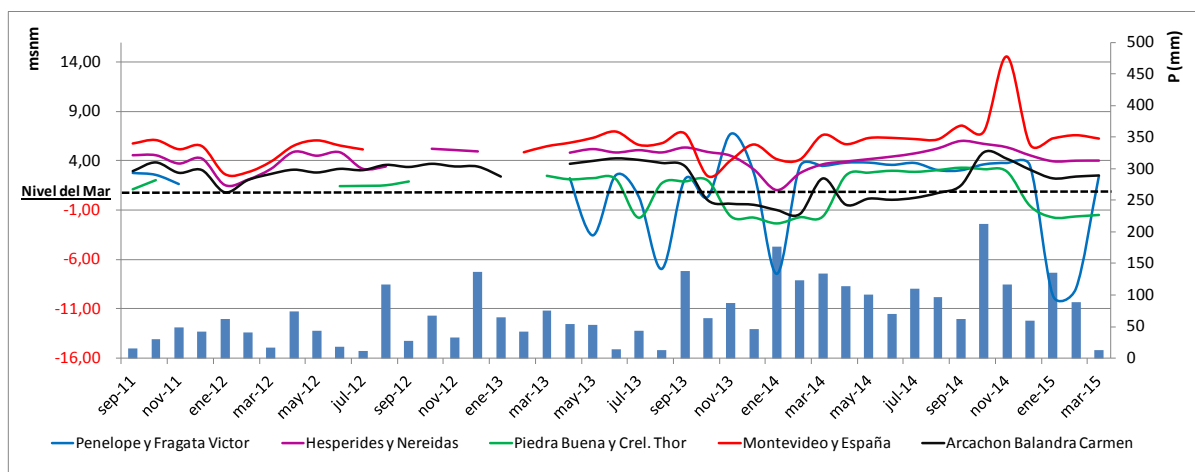


Figura 6.26 Evolución de los niveles hidráulicos para los pozos de explotación de la Cooperativa de Agua y Luz (CALP)

Las diferencias de nivel entre los niveles estáticos y dinámicos son del orden de los 8 a 10 m condición que no solo indica una baja eficiencia de las captaciones seleccionadas, sino que en casos particulares como en las captaciones ubicadas en Pinamar Norte (Intersección de las calles Penélope y Fragata Victoria) y en Valeria del Mar (Intersecciones de las calles Piedra Buena y Coronel Thorn y Arcachon y Balandra Carmen) los niveles dinámicos operan por debajo del nivel del mar generando inversiones del gradiente de flujo subterráneo. Ello explica la aparición y desaparición de los conos de depresión aún fuera de la temporada turística.

La depresión en la perforación situada en la intersección de las calles Penélope y Fragata Victoria da lugar a los conos de depresión de mayo y agosto de 2013 (Mapa N° 6), enero y febrero de 2014 (Mapa N° 7) y los de enero y febrero de 2015 (Mapa N° 9).

Lo mismo ocurre con la perforación Piedra Buena y Coronel Thorn en Valeria del Mar la cual constituye una captación de refuerzo durante la época turística, condición que es evidenciada por depresiones puntuales entre noviembre de 2013 y marzo de 2014, y entre diciembre de 2014 y marzo de 2015.

CAPÍTULO 7

CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS





CAPITULO 7 | CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS

La caracterización hidroquímica se realizó en base a los resultados de los análisis químicos del muestreo de noviembre de 2014. El criterio utilizado para la elección de dicha población de datos radica en que se obtuvieron un mayor número de muestras, y que, además, no se advierten variaciones significativas con los resultados efectuados anteriormente en noviembre de 2011 y marzo de 2012 (Los resultados de las determinaciones se muestran en el Anexo). No obstante se realiza un análisis por separado para aquellos componentes cuyo comportamiento requieren de un tratamiento especial.

7.1 CLASIFICACIÓN HIDROQUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

A partir de los diagramas de Piper (1944) (Figura 7.1) se advierte un predominio de las aguas bicarbonatadas con 49 muestras sobre 54 analizadas (91%), 2 son muestras cloruradas y 3 representan mezclas entre los dos tipos anteriores. Las bicarbonatadas se distribuyen en su mayor parte en el sector central del cordón con un valor medio para el C de 331 mg/L. Las cloruradas se encuentran sobre el sector costero en donde el Cl^- promedia los 680 mg/L en los pozos CSP y CSVM, mientras que las mixtas (Pozos F39, P34 y P15) se disponen en los extremos este y oeste del cordón costero con valores medios de 250 y 149 mg/L para el HCO_3^- y el Cl^- respectivamente.

En cuanto a la composición catiónica, existe un claro predominio sódico (72%) sobre el resto de la especies, un 18% son cálcico magnésicas, 7% sódico magnésicas y 2% magnésico cálcicas.

El diagrama triangular para los cationes muestra un patrón de comportamiento típico de aguas de infiltración reciente cuya composición tiende a enriquecerse en Na^+ y decrecer en HCO_3^- en el sentido de flujo subterráneo. Este gradiente se ve atenuado debido a que la recarga se produce, de acuerdo al carácter permeable de los sedimentos, en forma homogénea en todo el ancho del cordón generando el aporte continuo de los iones Ca^+ y HCO_3^- .

Los diagramas columnares de Schoeller-Berkaloff (Ver anexo) para los sectores costero, central y oeste permiten identificar el carácter bicarbonatado sódico de las aguas subterráneas, así como el carácter reciente de la recarga.

Los diagramas de Stiff (Figura 7.2 y Mapa N°12 en anexo) muestran polígonos estrechos para el sector central y más abiertos hacia los sectores de descarga. En todos los casos el anión que tiende a incrementar con el recorrido subterráneo es el HCO_3^- desde valores de 130 a 500 mg/L, y en segundo lugar el Cl^- desde contenidos de 10 a 60 mg/L, mientras que dentro de los cationes el Na^+ es el que más se enriquece desde valores de 15 a 500 mg/L.

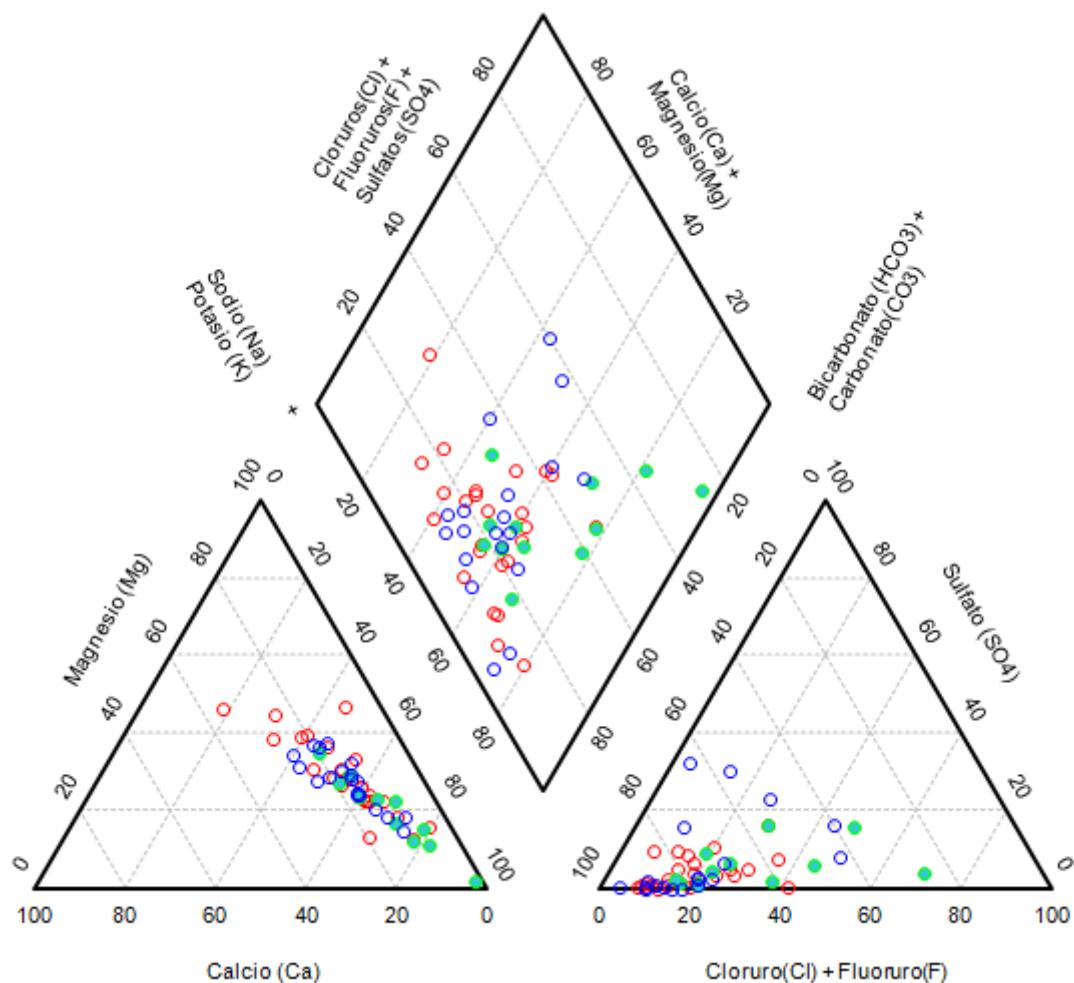


Figura 7.1 Diagrama de Piper para el censo de muestreo hidroquímico realizado en noviembre de 2014. En color azul se han representado los pozos ubicados en el sector oeste, en rojo los centrales y en verde los costeros. (Valores % expresados de los meq/L)

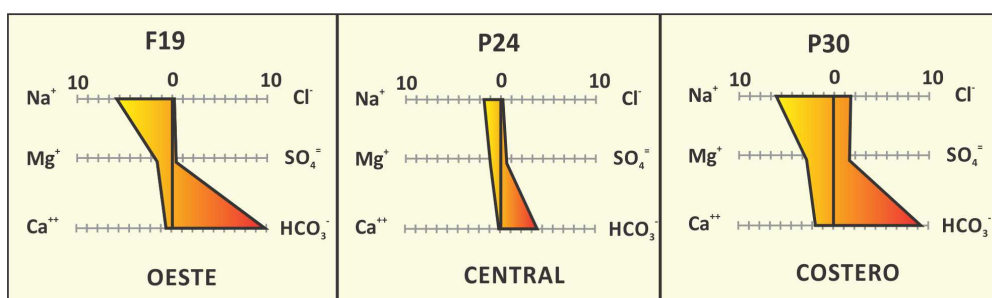


Figura 7.2 Diagramas de poligonales de Stiff típicos para los sectores oeste, central y costero.

7.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS

A continuación se realiza una breve descripción acerca del comportamiento y distribución de la conductividad eléctrica del agua y de las concentraciones de los iones mayoritarios y minoritarios analizados.



CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

Desde el punto de vista de la conductividad eléctrica, con excepción de 2 muestras, se tratan de aguas dulces, siendo su valor medio de $711 \mu\text{S/cm}$. El mapa de isoconductividad (Mapa N°13 en anexo) muestra un agrupamiento de los valores más bajos ($<500 \mu\text{S/cm}$) en el sector central del cordón, y un aumento gradual hacia ambos lados de la divisoria de aguas hasta llegar a la isolinea de $1000 \mu\text{S/cm}$.

En concordancia con el comportamiento observado para los valores de CE, se aprecia un aumento del contenido de los sólidos totales disueltos en la dirección el sentido del flujo subterráneo. Las concentraciones en el sector medio del cordón son menores a los 300 mg/L mientras que hacia los sectores de descarga superan los 500 mg/L .

Los valores mínimos de CE se registraron en los pozos P13 y P18 situados cerca de la divisoria con valores de 267 y $334 \mu\text{S/cm}$ en tanto que los máximos fueron detectados en dos sectores, el primero de ellos se ubica el sector centro occidental, a partir los pozos F42 con $1602 \mu\text{S/cm}$, de $2016 \mu\text{S/cm}$ en el F36, y de $1404 \mu\text{S/cm}$ en el pozo P15. Este agrupamiento de valores se vincula directamente con las aguas de infiltración artificial de la planta de tratamiento las cuales conducen a la formación de un semicírculo cóncavo hacia el continente con un gradiente positivo hacia este último. El segundo sector se ubica en el área costera al sur de Cariló con $1482 \mu\text{S/cm}$ en el pozo P34 y cuyo origen se podría relacionar al desplazamiento hacia el continente desde el mar de aguas con CE más elevados.

BICARBONATOS

El valor medio para este elemento fue de 315 mg/L , con un mínimo de 130 mg/L y un máximo de 540 mg/L en los pozos P18 y F42 respectivamente. El mapa de distribuciones permite reconocer un incremento en el sentido de flujo subterráneo (Mapa N°14 en anexo). Los valores menores a 200 mg/L se sitúan en la porción central del cordón y aquellos mayores a 400 mg/L se observan hacia ambas márgenes del cordón. Las altas concentraciones de 540 mg/L registradas en la perforación F42 se relacionan con la infiltración artificial de las aguas de la planta de tratamiento.

CLORUROS

La concentración promedio para el Cl^- es de $51,6 \text{ mg/L}$, en tanto que los extremos mínimo y máximo se sitúan en la localidad de Carilo para los pozos F35 con $9,1 \text{ mg/L}$ y el P34 con 218 mg/L .

En el mapa N°15 (Ver anexo) se reconoce un incremento de las concentraciones hacia ambos lados del cordón costero, desde valores de 20 mg/L en el sector central hasta 80 mg/L hacia la RP N°11 y hacia la costa. Localmente se observan dos sectores con concentraciones mayores. El primero de ellos en el ámbito de la planta de tratamiento en las perforaciones F42 y P15 con valores de 161 y 122 mg/L , que son un reflejo de la influencia que dicha planta genera al sistema de agua subterránea. El segundo se localiza en



el extremo sur de Cariló (Balneario Divisadero) y está circunscripto a la perforación P34, ubicada por detrás del pie de médano, con un valor de 218 mg/L.

SULFATOS

Con un mínimo 0,5 y un máximo de 198,6 mg/L, el valor promedio para el SO_4^- alcanza los 23 mg/L. El mapa de distribución muestra un predominio de los valores entre 20 y 30 mg/L. En el mapa N°16 (Ver anexo) se observa que, de forma similar a la tendencia de los cloruros, los tenores de sulfato tienden a aumentar en el sentido del flujo subterráneo.

Las concentraciones de los pozos FP12 (158 mg/L) en Pinamar, F35 (120,5 mg/L) en Carilo, ambos ubicados sobre la RP N°11, parecen responder a un control de tipo geológico. Un posible origen para dichas concentraciones podría relacionarse con la oxidación de los sulfuros. Dichos componentes se encuentran presentes en la fase sulfurada de la materia orgánica que conforman los paleosuelos descriptos en los perfiles litológicos típicos ubicados en las cercanías de la RP N°11.

Un origen más asociado con la actividad antrópica puede ser atribuido para la concentración en el pozo F42 (198,6 mg/L) situado al sur de la planta de tratamiento en Pinamar. De este modo, y al igual que en los casos anteriores, dichos contenidos reflejarían el efecto de dicha obra sobre el sistema regional.

SODIO

El mapa N°17 (Ver anexo) muestra la distribución de las concentraciones para este elemento, apreciándose un comportamiento similar al observado para los aniones descriptos, en particular el del cloruro. Asimismo existe un predominio de los valores entre los 50 y 100 mg/L, los cuales se agrupan en el sector central formando una franja de unos 2000 m alineada en forma paralela a la línea de costa.

Las concentración del pozo P34 en el sector sur costero de Cariló arrojó un valor de 180 mg/L, indicando, al igual que para los cloruros, un posible desplazamiento hacia el continente de la zonas de mayor salinidad, como consecuencia de la explotación de agua subterránea que se produce en este sector.

Otro de los efectos vinculados con la intervención antrópica puede ser verificado a partir de las mayores concentraciones registradas en los alrededores de la planta de tratamiento con valores que superan los 200 mg/L.

CALCIO

La distribución de concentraciones para este ion muestra un agrupamiento de los valores más bajos en el sector central del cordón y un progresivo incremento en el sentido de flujo.

El valor medio fue 21,8 mg/L, en tanto que los menores tenores promedian los 6,5 mg/L en los pozos PE4, P24 y P29 ubicados en sector central de Ostende y Valeria del Mar.



Concentraciones de 34,6 mg/L fueron obtenidas para el pozo profundo CSC1 de Cariló permitiendo vincular su origen a un aumento del contenido por la disolución de la fase carbonática bioclástica presente en todo el perfil.

Diferente origen es atribuible para los pozos F42, P15 y F36 situados en las inmediaciones de la planta de tratamiento. En este caso el comportamiento se encuentra dominado por el efecto de la infiltración artificial de aguas.

POTASIO y MAGNESIO

Los valores promedio fueron de 12,1 y de 21,8 mg/L para el K^+ y Mg^{++} respectivamente.

Los comportamientos para K^+ y Mg^{++} muestran similitudes con respecto a los ya descriptos para el Ca^+ . En este sentido las menores concentraciones del K^+ y el Mg^{++} son de 3,6 y de 7,6 mg/L respectivamente y se agrupan en sector central del cordón (perforaciones P29, P24, PE4 y P13). Los mayores contenidos tienden agruparse en torno a la planta de tratamiento con valores de promedio de 18,5 y 33 mg/L para el K^+ y el Mg^{++} , permitiendo deducir un control antrópico en dichos valores.

COMPUESTOS NITROGENADOS

De acuerdo a lo expresado en la metodología se realizó un tratamiento especial con los resultados obtenidos en el laboratorio del ILPLA (Instituto de Limnología Raúl A. Ringuelet) en 2013. La mayor parte de esta caracterización se basa en este muestreo y posteriormente, con el objeto de verificar variaciones en la distribución, se lo compara con los resultados de noviembre de 2011, marzo de 2012 y noviembre de 2014.

Se estimó un valor de fondo del contenido de NO_3^- en el agua subterránea de 2,60 mg/L de NO_3^- . La determinación de este valor fue partir de un total de 102 determinaciones, generadas a partir de los muestreos realizados en noviembre de 2011, marzo de 2012 y septiembre de 2013. En la Figura 7.3 se muestra el procedimiento empleado para la determinación del valor de fondo el cual implica sucesivas exclusiones de los valores cuyo contenido de NO_3^- superan el percentil 90 (Matteoda, 2012). Dado el valor de fondo determinado, el 47% de las muestras superan este valor de referencia.

El valor medio de NO_3^- es de 4,72 mg/L. El mapa de distribución de NO_3^- para 2013 (Mapa N°18 en anexo) muestra un carácter homogéneo, solo se advierten 4 casos puntuales con valores más altos, en el pozo P30 de Carilo con 34,49 mg/L, en el F42 en el ámbito de la planta de tratamiento con 21,11 mg/L y en los pozos F41 y F39 situados dentro del casco urbano de Pinamar con 14,16 y 13,84 mg/L. Los contenidos mínimos fueron detectados en la perforación P7 ubicada sobre la RP N°11 al norte de Pinamar con 0,268 mg/L de NO_3^- .

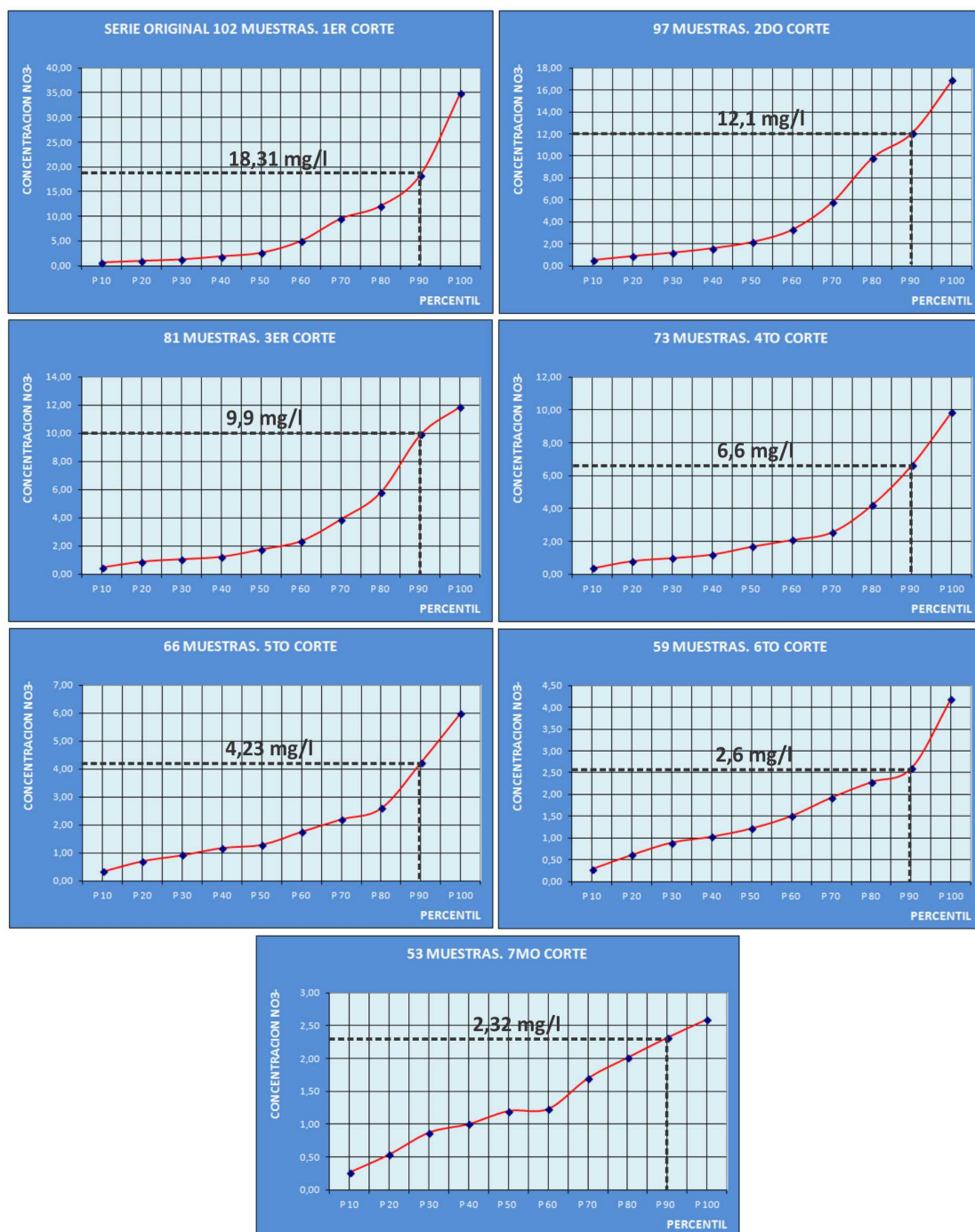


Figura 7.3 Determinación del valor de fondo natural para el NO_3^- . Gráficas de probabilidad.

La distribución de los valores de noviembre de 2014 (Mapa N°19 en anexo) muestra un similar comportamiento al descripto para los muestreos anteriores con un predominio de los valores situados por debajo de los 10 mg/L NO_3^- . De igual modo que para 2013 se observan casos puntuales con concentraciones relativamente mayores al resto en los pozos F39 con 13,84 mg/L y en el F42 con 21,11 mg/L, en tanto que el máximo fue en el pozo P30 (34,49 mg/L) ubicado en el sector costero de Cariló.



En el caso del pozo F39 de Pinamar los valores se atribuyen a un deterioro generalizado de las redes cloacales las cuales poseen más de 50 años de antigüedad o bien con una cobertura incompleta del servicio.

Para el pozo F42 ubicado en las inmediaciones de la planta de tratamiento, dichas concentraciones se relacionan con una deficiencia en el sistema de depuración de los efluentes o bien a una falta de eficiencia durante el proceso de tratamiento de los líquidos cloacales.

Por último y para el pozo P30 situado en la calle Avutarda entre Paraíso y Nogal en el sector costero de Carilo, los contenidos se vinculan con la falta de servicios cloacales en dicha localidad.

NITRITOS

El NO_2^- se presenta en la fase intermedia del proceso de oxidación de los compuestos nitrogenados, de modo tal que su existencia evidencia el lapso intermedio de transformación desde las formas reducidas como el amonio, hasta aquellas formas oxidadas como el NO_3^- . De acuerdo a los datos obtenidos para 2013, el valor medio fue de 0,05 mg/L, mientras que los máximos y mínimos fueron de 0,273 y 0,002 mg/L respectivamente.

El máximo valor (0,273 mg/L) se halla en el pozo F42 en la zona de la planta de tratamiento, de acuerdo a las concentraciones determinadas, estos valores estarían influenciados por la presencia de un nivel freático mas somero (1,41 m) lo cual impediría la oxidación total de los compuestos nitrogenados debido a las condiciones de anoxia en la zona saturada. Esto no ocurriría en la zona de Cariló en donde la ZNS posee un espesor mayor (4 a 5 m), favoreciendo la oxidación total de estos componentes.

Se observan valores menores a 0,05 mg/L para el resto del partido, solo se hace referencia a un único valor (0,18 mg/L) hallado en el pozo P30 ubicado en sector costero de Cariló.

Para 2014 no se registraron valores que superen el límite de detección del método (<0.01 mg/L).

AMONIO

Los valores de NH_4^+ determinados presentaron un valor medio de 0,085 mg/L, con máximos y mínimos de 0,274 (P29) y 0 mg/L respectivamente.

Como en los dos apartados anteriores el origen de estos compuestos podría estar ligado a fallas en el sistema de impermeabilización de líquidos residuales de la planta de tratamiento de líquidos cloacales.

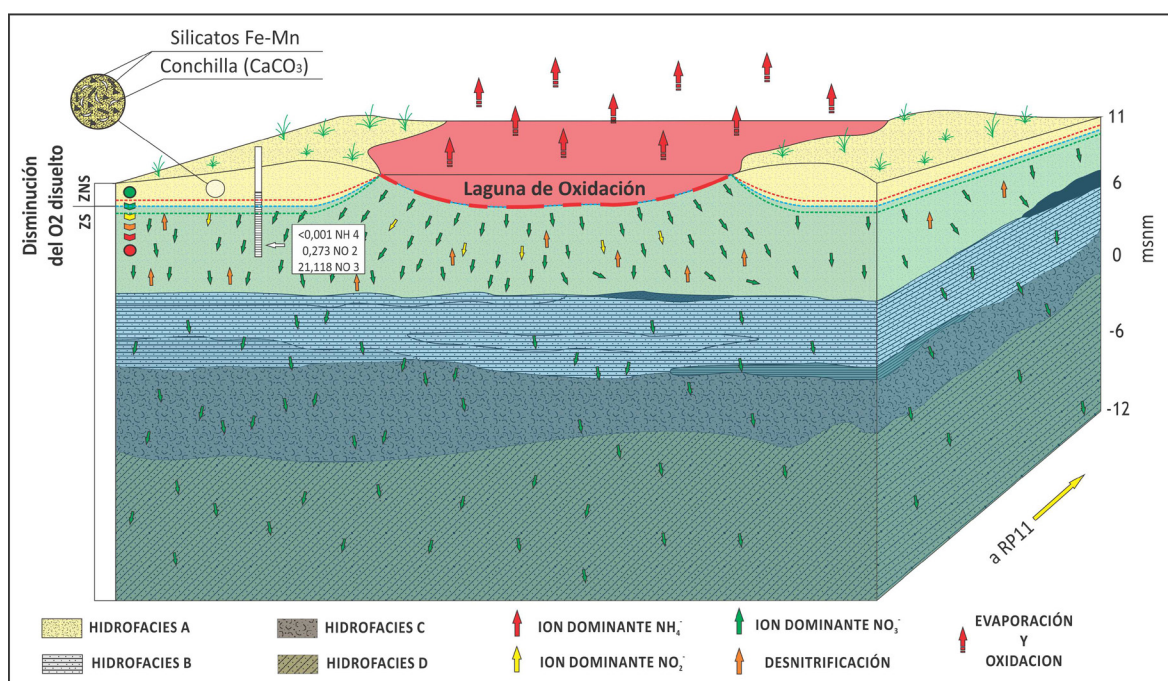


EVOLUCIÓN DE LA SERIE NITROGENADA

Resulta interesante analizar los procesos que ocurren en el subsuelo y que justifiquen los valores determinados en el laboratorio. Se detectaron dos situaciones que evidencian el aporte antrópico de nitrógeno orgánico.

La primera de ellas se ubica en la zona de la planta de tratamiento de efluentes domiciliarios. Estos sistemas se basan en la transformación natural de la materia orgánica mediante el empleo de grandes superficies que favorecen la oxidación (Ver figura 6.4 en Capítulo 6). De acuerdo a lo que se pudo observar en las campañas de muestreo, presentan deficiencias en cuanto a la impermeabilización del sustrato (Figuras 7.4). Las láminas de polietileno utilizadas para aislar las lagunas tienen numerosas rupturas a partir de las cuales se infiltra el agua del tratamiento al subsuelo, resultando en un aporte extra de nitrógeno orgánico.

En la figura 7.4 se muestra un modelo conceptual elaborado para este sector. Se puede apreciar la trayectoria de los compuestos nitrogenados, en este caso el proceso de oxidación se inicia desde el vertido de los efluentes cloacales a la red de saneamiento, los cuales son movilizadados hasta la laguna de tratamiento mediante estaciones de bombeo intermedias.



Una vez que el agua ha sido retenida dentro del cuerpo de agua, mecanismo que favorece aun más los procesos oxidativos, se produce infiltración mediante dos posibles mecanismos. El primero a través de fallas en el sistema de impermeabilización, mientras que el segundo se produce debido al vuelco intencional



en un sector bajo ubicado entre la planta de tratamiento y la RP N°11. La oxidación total de los componentes nitrogenados estará en función del espesor de la zona no saturada, es decir de la profundidad del nivel freático, que en este caso oscila entre 1 y 2 m.

En el caso del sector de Cariló (Figura 7.5), el aporte de compuestos nitrogenados se produce a partir de los sistemas de tratamiento individuales de fosa y cámara séptica. La oxidación es a través de la ZNS llegando al nivel freático bajo la forma de NO_3^- , de manera tal que las concentraciones de estos compuestos estarán en función del espesor de la ZNS, que varía entre 4 y 5 m.

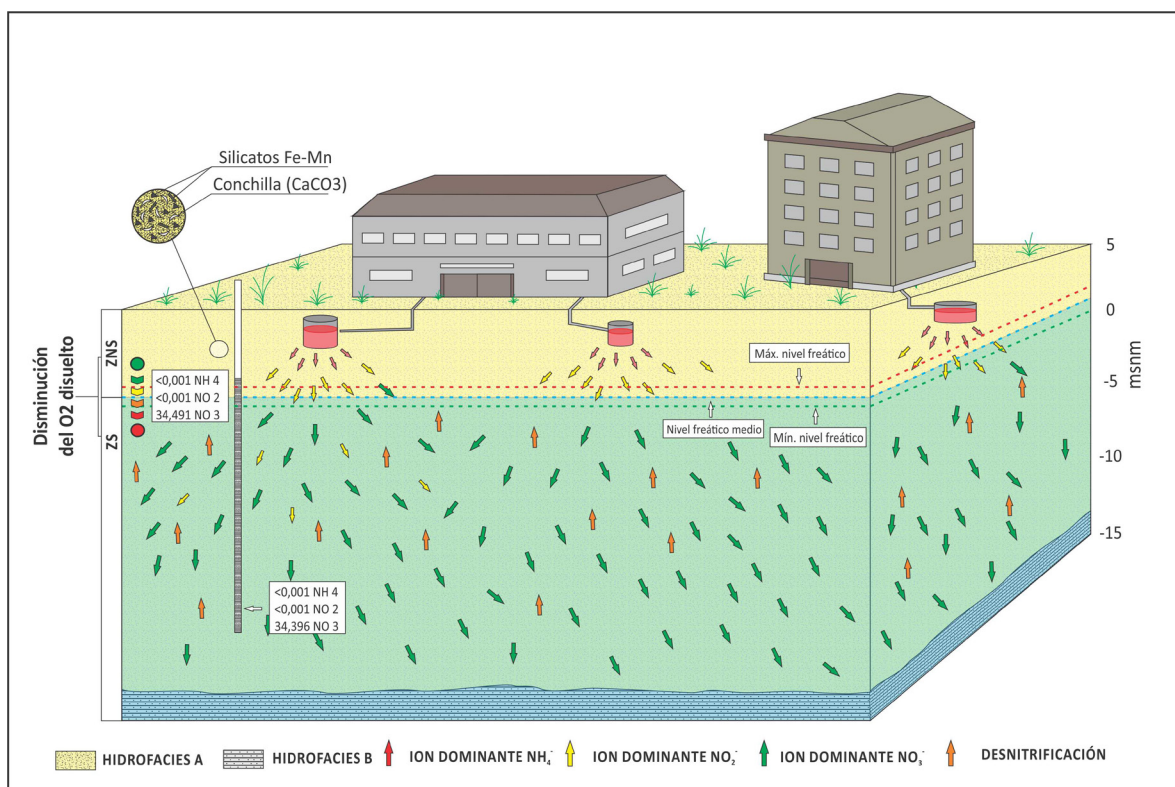


Figura 7.5 Modelo conceptual propuesto para el sector hotelero de la localidad de Cariló.

Con respecto a los procesos de desnitrificación, y de acuerdo a los cuatro requisitos necesarios para que dicho proceso tenga lugar, se establecen 2 hipótesis que explicarían los valores hallados.

La primera se vincula a los procesos metabólicos de bacterias heterotróficas que, ante la escasez de O_2 disuelto en el agua subterránea, consumen NO_3^- en sus procesos oxidativos de la materia orgánica. La segunda está relacionada al consumo de NO_3^- por parte de bacterias litotróficas que oxidan a compuestos reducidos de Fe^{++} y Mn^{++} en virtud de obtener en energía a partir de dicho proceso. Es probable que ambos fenómenos ocurran conjuntamente y que la predominancia de uno u otro este en función de la presencia de materia orgánica o bien de compuestos reducidos de Fe^{++} y Mn^{++} .



HIERRO

Tal como puede observarse en el mapa N°20 (Ver anexo), la distribución de este elemento es relativamente homogénea con valores en su mayoría menores a los 0,05 mg/L. Puntualmente se aprecia un incremento en la concentración en un pozo (P13) situado sobre la intersección de las calles de la Deriva y de los Álamos (Pinamar Norte). Esta condición pudo ser verificada también durante los trabajos de campo mediante la visualización de manchas rojizas en las edificaciones ubicadas en este sector.

MANGANESO

Las concentraciones obtenidas para el Mn^{++} no superan los 0,005 mg/L en el 95% de los casos. Puntualmente se detectaron 3 casos con valores de 0,08, 0,2 y 0,5 mg/L en las perforaciones P15, F36, y F42 respectivamente.

BROMUROS

Los contenidos de Br^- no exhiben grandes variaciones, presentando en la mayoría de los casos valores menores a 0,1 mg/L. Solo se han detectado 4 casos aislados en donde la concentración alcanza a los 0,3 mg/L

FLUOR

En términos generales los contenidos de F^- relevados no muestran valores que excedan los 0,05 mg/L en la mayor parte de los pozos muestreados, puntualmente se observan valores de 0,5 mg/L en el PO1 y de 0,06 mg/L en los pozos P31, CSMO y P14.

ARSÉNICO

Las concentraciones presentan una distribución homogénea, sólo se registran 6 casos aislados con valores situados dentro de un rango que va desde los 0,010 a los 0,027 mg/L en los pozos P12, CSMO, P5, P3, P7 y P14.

7.3 COMPARACIÓN HIDROQUÍMICA ENTRE PARES DE PERFORACIONES (SOMERAS Y PROFUNDAS)

Con el objeto de efectuar un análisis comparativo acerca comportamiento hidroquímico en los pares de pozos someros y profundos, en la tabla 7.1 se muestran los resultados analíticos para los aniones y cationes mayoritarios obtenidos para cada par de perforaciones.



ANALITO	FP7	P7	FP12	P12	FP3	P3	F35	P35	FP33	P33	FP5	P5
CE (µs/cm)	638	350	1094	640	770	354	1033	700	1018	906	613	334
Dureza (mg/l)	155	76	193	161	185	104	197	179	190	213	143	88
HCO ₃ (mg/l)	335	135	370	265	315	150	300	350	415	305	250	135
SO ₄ (mg/l)	58,3	0,5	158,0	1,7	8,7	0,5	120,5	3,7	17,5	33,2	4,8	2,7
Cl (mg/l)	27,9	14,8	50,7	25,0	48,1	19,2	9,1	26,8	97,6	109,8	30,2	21,0
NO ₃ (mg/l)	0,28	0,09	0,95	0,63	0,76	0,09	0,37	0,48	1,59	1,09	14,50	0,09
Na (mg/l)	80,1	27,8	121,1	45,9	98,9	35,6	47,6	77,7	116,8	143,1	72,5	39,4
K (mg/l)	12,60	7,60	17,40	16,60	14,40	7,20	19,60	20,10	14,60	15,60	9,70	10,20
Ca (mg/l)	20,8	13,8	30,8	22,1	26,2	12,6	33,0	25,5	27,1	34,7	19,7	14,1
Mg (mg/l)	24,7	9,9	27,9	25,4	28,6	17,4	27,4	27,6	29,4	30,4	22,4	12,6

Tabla 7.1 Resultados analíticos para los iones mayoritarios en los pozos someros y profundos. (El prefijo “F” indica el pozo más somero y el “P” el más profundo)

En términos generales, los diagramas de Piper y de Schoeller Berkloff (Figura 7.6 y 7.7) permiten advertir el carácter bicarbonatado para ambos pozos monitores, en tanto que se aprecia un predominio del tipo sódico magnésico en los más someros y sódico en los profundos. Asimismo se reconoce una mayor CE y dureza en el pozo más somero, y un menor contenido de sulfatos en el más profundo.

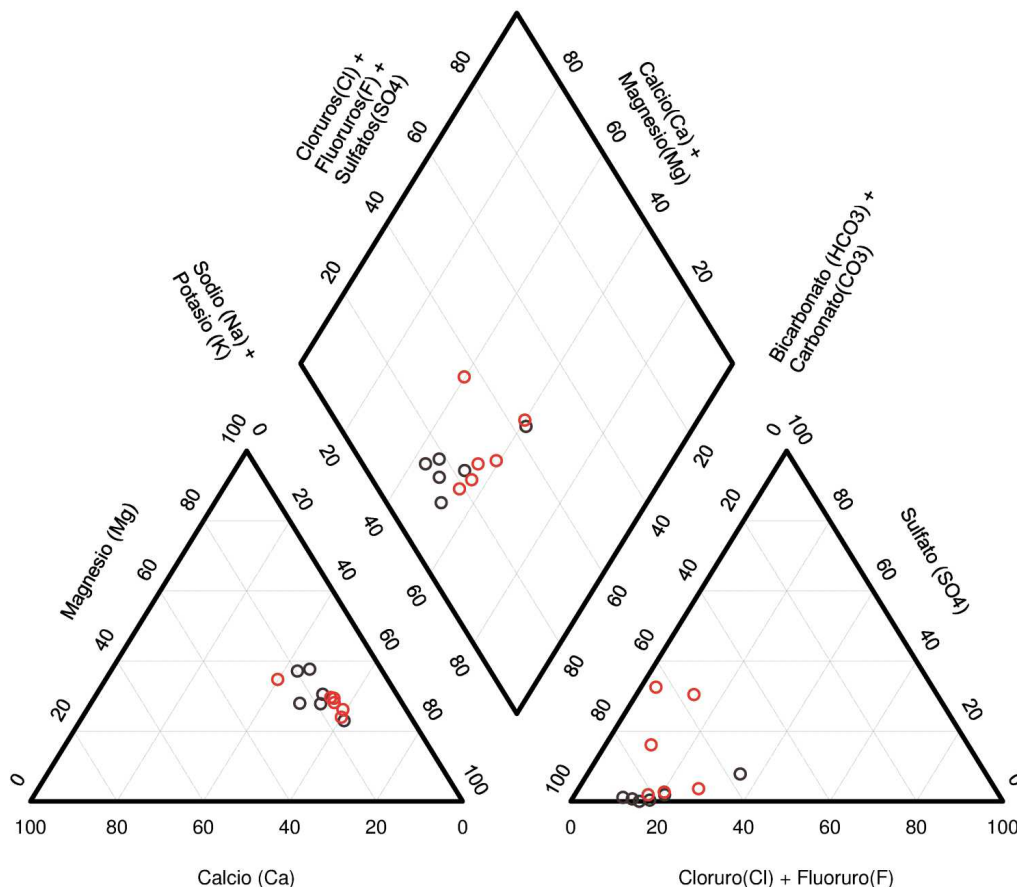


Figura 7.6 Diagrama de Piper. Con círculos rojos se han representado los contenidos obtenidos en los pozos somero y con círculos negros los más profundo (Valores % expresados de los meq/L).

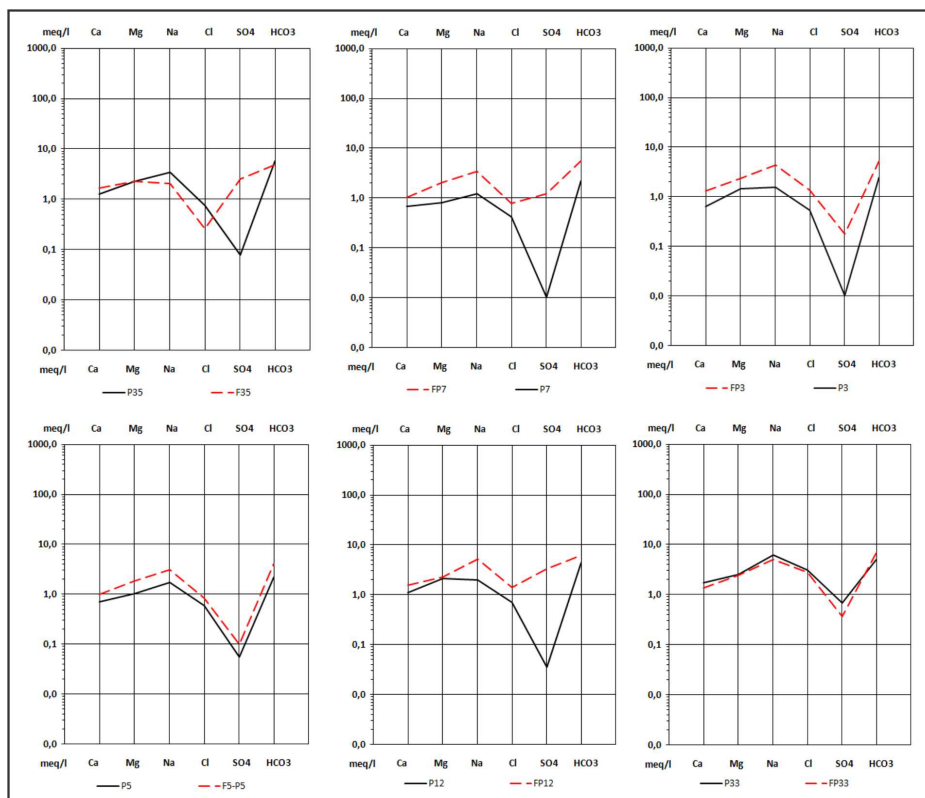


Figura 7.7 Diagramas de Schoeller-Berkaloff. Con trazo punteado rojo se han representado los contenidos obtenidos en los pozos someros y en trazo continuo negro los más profundos.

7.4 CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS DE LOS NIVELES PROFUNDOS

Los resultados obtenidos para los pozos profundos (Figura 7.9) se muestran en la tabla 7.2. El diagrama de Piper (Figura 7.8) permite diferenciar 2 tipos de familias en donde 8 de las 10 muestras son bicarbonatadas mientras que las 2 restantes (CSP y CSVN) son cloruradas sódicas. En la mayoría de los casos el catión dominante es el Na^+ , mientras que solo en 2 lo son el Ca^{++} y el Mg^{++} (CSPN y CSC2).

DETERMINACIÓN	CSVN	CSC1	CSPN	CSMA1	CSMO	CSMA2	CSMA3	CSP	CSCALP	CSC2
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	3513	4740	1015	1092	1095	1234	752	6080	623	1208
pH (Unidad de pH)	7,89	7,86	7,38	7,2	8,07	7,31	7,15	7,7	7,55	7,36
Cl^- (mg/l)	1005	224,7	103,5	79,7	128	86,7	25,2	355,8	32	69,4
$\text{SO}_4^{=}$ (mg/l)	88,6	177	32,6	6,3	11,3	18,3	3	159,9	17,1	19,1
HCO_3^- (mg/l)	645	725	585	510	360	575	405	450	305	315
Na^+ (mg/l)	697	109,7	31,4	113,6	108	139,8	89,5	888,9	90,9	15
K^+ (mg/l)	7,7	19,1	17,4	20,4	9,5	11,6	10,4	25,6	14,7	16,9
Ca^{++} (mg/l)	11,5	34,6	27	30,4	12	27,9	21,3	40	22	41,4
Mg^{++} (mg/l)	9,3	26,5	29,6	27,8	17,6	24,6	24,6	37,8	19,6	33,4
NO_3^- (mg/l)	7,2	6,1	7,1	1,26	1,33	1,36	0,68	42,5	1	137,4
NO_2^- (mg/l)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02
Br^- (mg/l)	< 0,1	0,3	0,2	< 0,1	0,2	0,4	< 0,1	0,4	< 0,1	0,2
$\text{Fe}^{+2/+3}$ (mg/l)	0,3	0,01	< 0,01	< 0,01	0,07	0,05	< 0,01	0,5	< 0,01	< 0,01
Mn^{++} (mg/l)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
As (mg/l)	< 5	< 5	< 5	< 5	14,8	< 5	< 5	9,4	< 5	< 5
F^- (mg/l)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05

Tabla 7.2 Resultados físico químicos obtenidos para los pozos profundos.

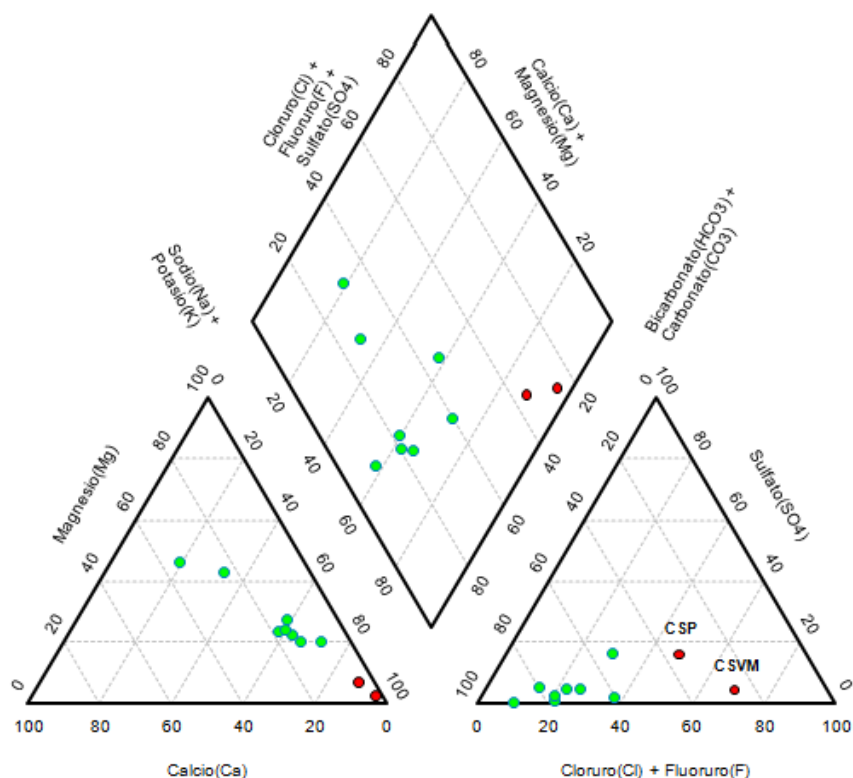


Figura 7.8 Diagrama de Piper para los resultados obtenidos a partir del muestreo de los pozos monitores profundos durante el censo de noviembre de 2014. En color rojo se muestran las muestras cloruradas sódicas. (Valores % expresados de los meq/L)

La CE media para los pozos situados en la llanura continental es de $1026 \mu\text{S}/\text{cm}$, en el sector central de $915 \mu\text{S}/\text{cm}$ y en el sector costero de $3300 \mu\text{S}/\text{cm}$. Los máximos de CE de 6080 , 3513 y $4740 \mu\text{S}/\text{cm}$ son los registrados en los pozos próximos a los de Pinamar (CSP), Valeria del Mar (CSVM) y Cariló (CSC1) respectivamente. De igual modo que para el Cl^- y el Na^+ estos valores superan en 4 a 5 veces los máximos determinados para el resto del cordón causando un abrupto gradiente de los contenidos en los últimos 300 m anteriores al mar.

El rasgo más destacado de este grupo de muestras está relacionado con la concentración de Cl^- las cuales presentan una alta variabilidad desde valores de 25 y hasta los $1005 \text{ mg}/\text{L}$. La misma variabilidad es observada para los contenidos de Na^+ con una media en $228 \text{ mg}/\text{L}$ y mínimos de 15 y máximos de $888 \text{ mg}/\text{L}$.

Los contenidos promedios de NO_3^- en la llanura deprimida oscilan entre los $0,68$ y $1,26 \text{ mg}/\text{L}$, mientras en el centro de Cariló es de $13,4 \text{ mg}/\text{L}$. Las mayores concentraciones se registraron en el pozo costero CSP de Pinamar con $42,5 \text{ mg}/\text{L}$ de NO_3^- .

En la figura 7.10 se muestran los diagramas de Schoeller Berkalooff para los pozos profundos ubicados en la llanura deprimida (CSMA1, CSMA2 y CSMA3), en el centro del cordón costero (CSC2 y CSCALP) y en el



sector costero (de norte a sur CSMO, CSPN, CSP, CSVM y CSC1). El análisis comparativo permite apreciar ciertas diferencias para cada sector.

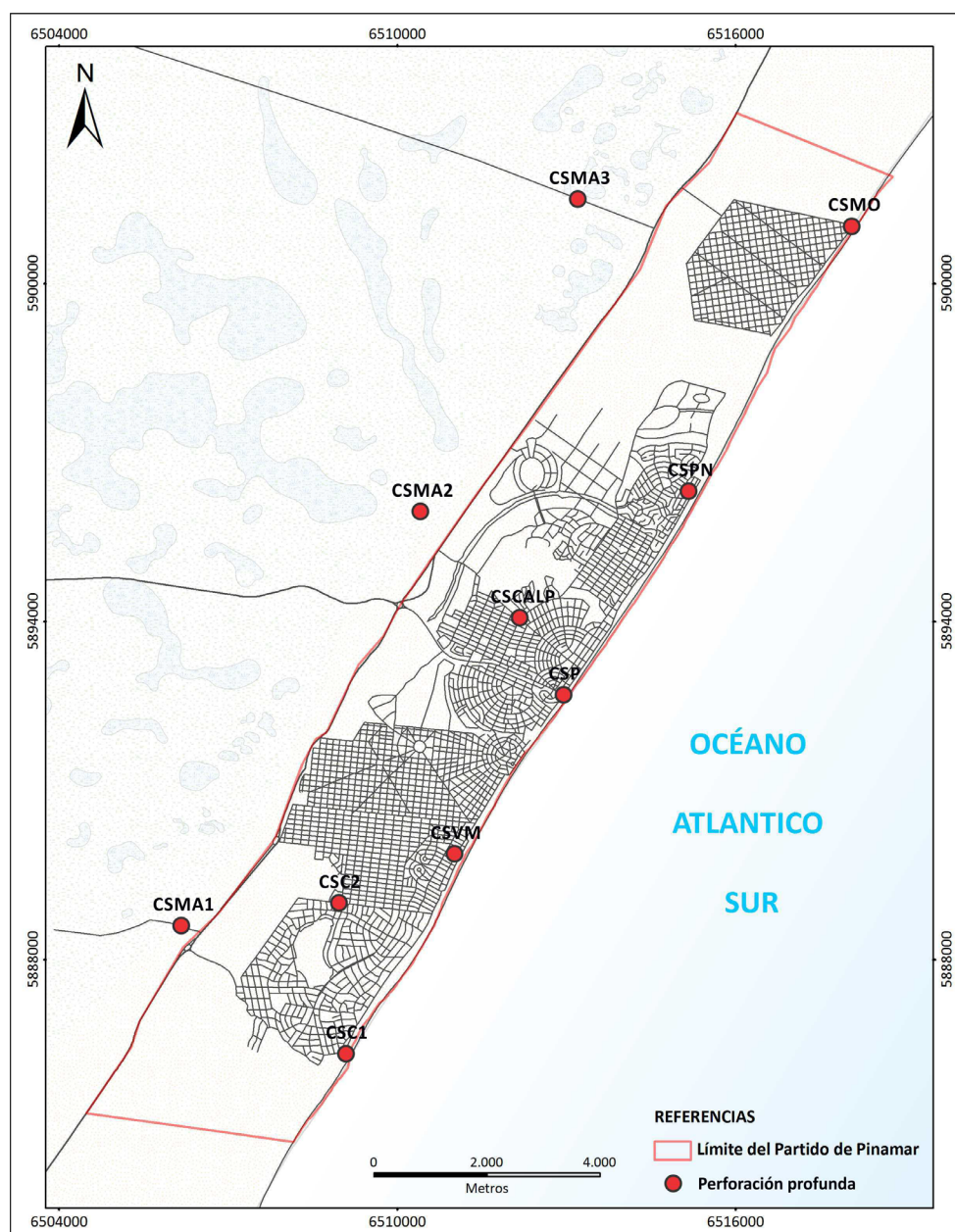


Figura 7.9 Ubicación de los pozos de monitoreo profundos.

Los pozos de la llanura deprimida (Partido de General Madariaga), muestran comportamientos similares entre sí con un predominio del Na^+ sobre el resto de los cationes. La rama aniónica se caracteriza por valores altos para el HCO_3^- intermedios para el Cl^- y bajos para el $\text{SO}_4^{=}$.

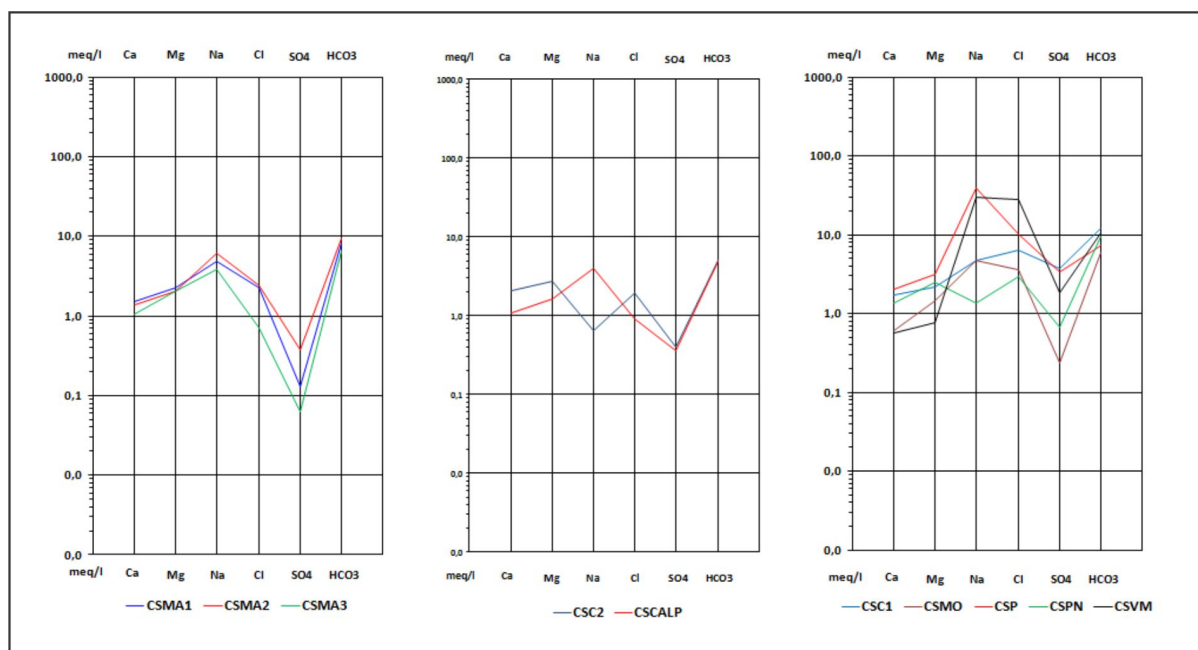


Figura 7.10. Diagrama de Schoeller Berkaloff para los pozos monitores profundos. Censo hidroquímico de noviembre de 2014.

Similar comportamiento se observa para los pozos del sector central ubicados en Pinamar y Carilo, aunque en este caso se advierte un dominio del Mg^{+} en el pozo CSC2. Las diferencias de tenores para los cationes y aniones posibilitan deducir la influencia de la zona de recarga.

Las perforaciones en el sector costero, CSP y CSVN presentan valores de Cl^{-} y Na^{+} significativamente más altos que los dos conjuntos anteriores.

En concordancia con la secuencia Chevotareb (1955), el diagrama de Schoeller-Berkaloff (Figura 7.9) permite reconocer un incremento general del contenido de los cloruros con respecto a los del resto del cordón, aunque en el caso de las perforaciones CSP CSVN y CSC1 es probable que se relacione con un proceso de salinización.

7.5 VARIACIÓN EN LA SALINIDAD EN POZOS PRÓXIMOS A LA COSTA

Los perfiles periódicos de conductividad eléctrica del agua subterránea en pozos próximos a la costa han posibilitado delinear algunas características particulares de la salinidad.

POZO MONITOR	LOCALIDAD	DISTANCIA A LA COSTA	PROF. DEL POZO	VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD
CSMO	Montecarlo	100 m	36 m	778 a 3030 $\mu S/cm$
CSPN	Pinamar Norte	300 m	35 m	580 a 770 $\mu S/cm$
CSPN	Pinamar Centro	70 m	36 m	5100 a 35000 $\mu S/cm$
CVSM	Valeria del Mar	100 m	35 m	2500 a 3000 $\mu S/cm$
CSC1	Carilo	50 m	35 m	2000 a 24000 $\mu S/cm$

Tabla 7.3. Características de los pozos de monitoreo profundos ubicados sobre la costa.

La variación en profundidad de la CE de estas perforaciones se muestra en la figura 7.11 y 7.12 según los datos de noviembre de 2013, marzo de 2014 y julio de 2014. Estos datos posibilitan plantear algunas



características locales de la posible relación agua dulce – agua salada. Para ello se consideran también registros de pozos vecinos (salinidad y niveles) y de las tomografías eléctricas realizadas en las proximidades.

En Montecarlo (CSMO) un primer perfilaje (03/2014) reconoció la existencia de dos saltos de CE. El primero se observa a los 18 mbbp a partir de una transición va desde los 778 a los 1040 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 3 m. Luego y hasta los 32 mbbp los valores tienden a permanecer constantes. El segundo se desarrolla en un espesor de 1 m a los 33 mbbp donde aumenta de 1950 a 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores en el resto del perfilaje son similares hasta el final de la perforación (36 m) con un valor medio de 3030 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El perfilaje de julio de 2014 no presenta diferencias con el descripto.

En este caso el perfilaje sólo muestra un incremento en la CE a partir de los 18 mbbp que podría ser un indicio de una existencia de la parte superior de una zona de mayor salinidad. De acuerdo a los datos de un pozo cercano (P5) situado por detrás de la duna de playa a 400 m de la costa es posible inferir la posición de la zona que relaciona el agua dulce con la salada, estimándose un ángulo aproximado entre 20 y 30° (Ver figura 7.13).

En Pinamar Norte (CSPN) en ambos perfilajes la CE permanece constante entre los 580 y 770 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El registro no muestra cambios al menos hasta los 27 mbbp. En conjunto con los niveles de agua subterránea y CE de los pozos monitores CSPN y P10 es posible deducir la relación que se bosqueja en la figura 7.13 en donde el ángulo aproximado oscila entre los 10 y los 15°.

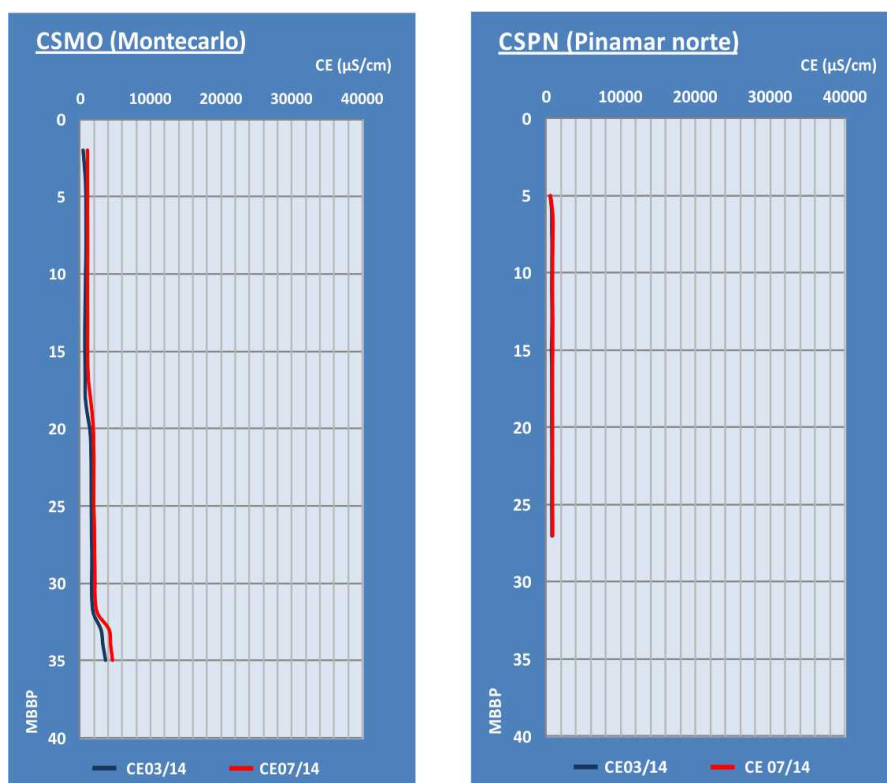


Figura 7.11 Perfiles de conductividad eléctrica para los pozos de monitoreo costero profundo (CSMO y CSPN).



En Pinamar (CSP) el perfilaje de noviembre de 2013 se inicia con valores 5100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y presenta dos quiebres. El primero de ellos desde 5000 a 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ entre los 16 y los 20 mbbp, mientras que el segundo se manifiesta con un salto de 8000 a 19000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ entre los 22 y los 24 mbbp a partir de la cual se aprecia un incremento hasta los 35 mbbp con CE de 35000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aproximadamente. Similares patrones de comportamiento se verificaron en los relevamientos de marzo y julio de 2014 aunque con leves cambios particularmente en los registros obtenidos después de los 24 mbbp.

En este caso los valores de CE más elevados desde el inicio del perfil sugieren un desplazamiento de agua salada hacia el continente, que podría ser producto de la explotación de agua subterránea que históricamente se realiza en este sector de Pinamar. Asimismo el primer quiebre coincide litológicamente con el inicio de la hidrofacies E de mayor permeabilidad, esta condición permite especular un cambio en el ángulo y la posición de la relación agua dulce – agua salada. Para ello se han considerado de los datos de los pozos vecinos CSP, F39 y P22 los que permiten establecer un valor aproximado entre 8 a 14° para el ángulo que vincula el agua dulce con la salada.

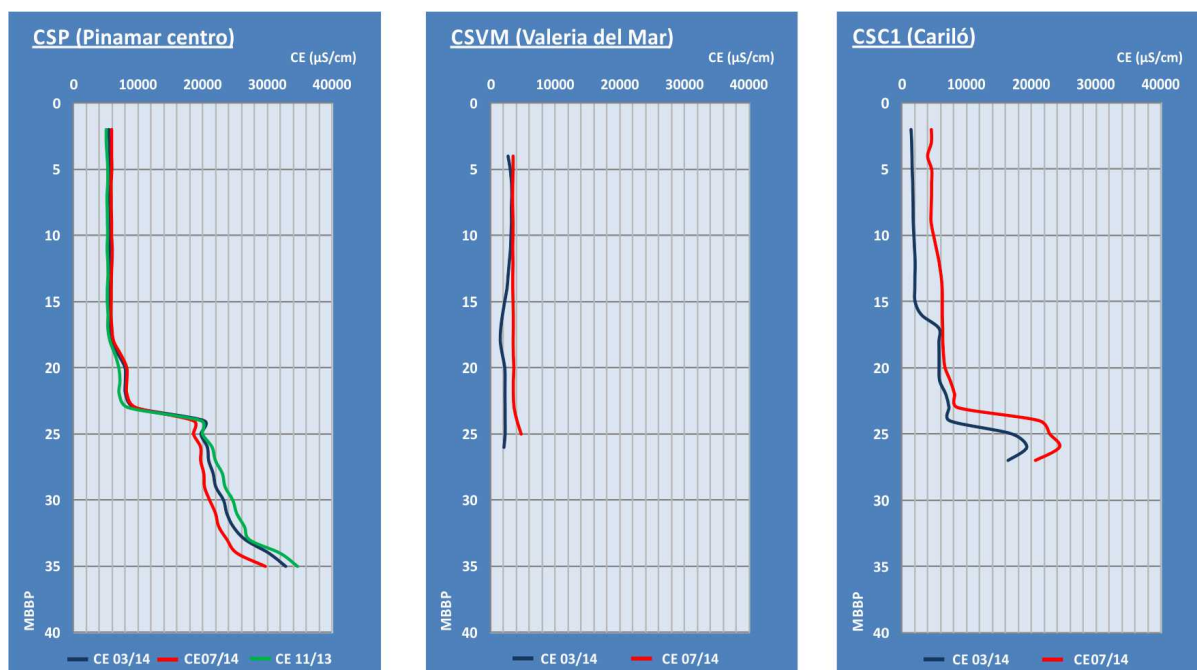
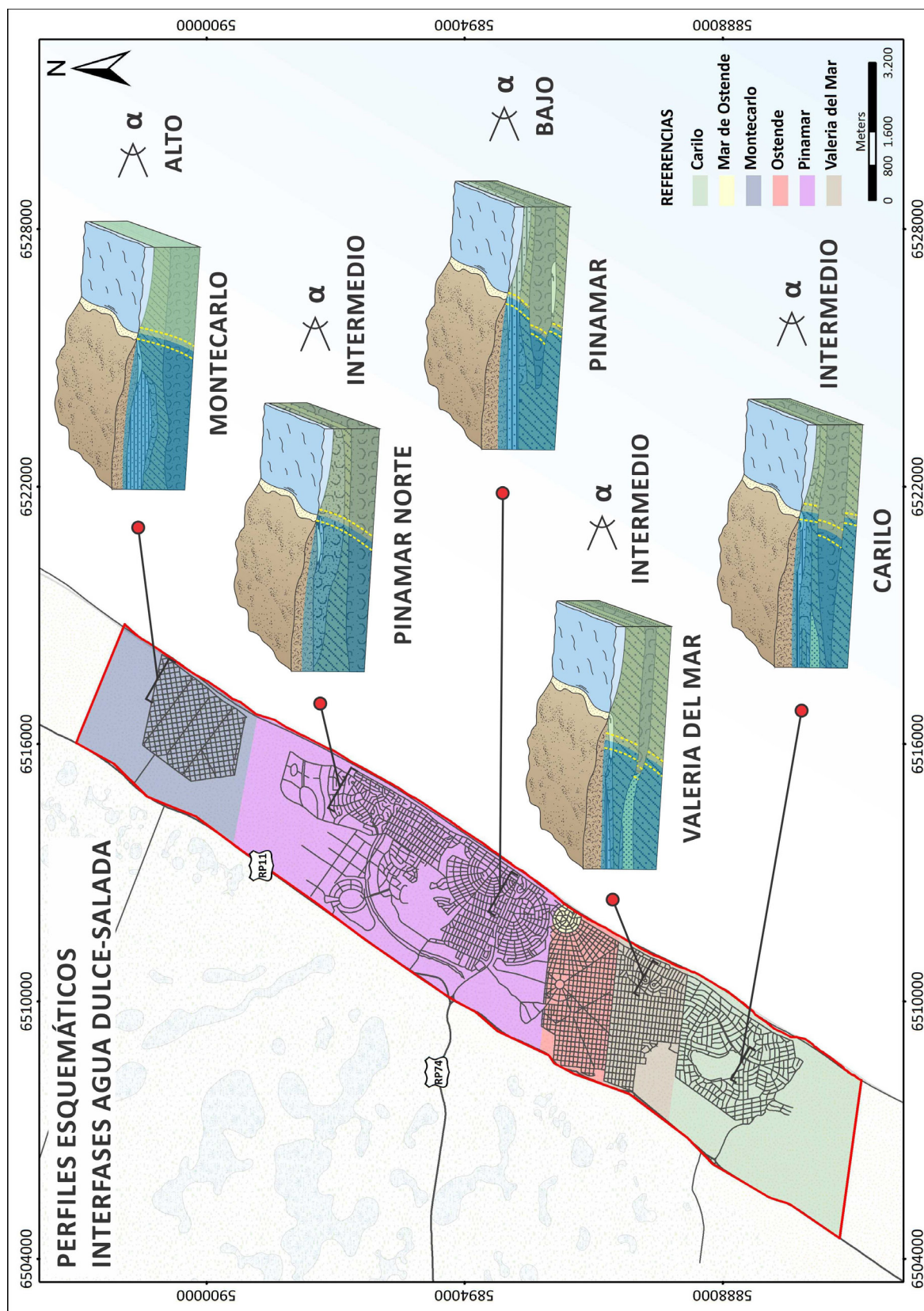


Figura 7.12 Perfiles de conductividad realizados durante las campañas de las fechas 11/13, 03/14 y 07/14.

El perfil CSVM (Valeria del Mar) presenta valores elevados desde el inicio con 2500 a 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta los 15 mbbp, luego, y a partir esta profundidad, se aprecia una inflexión hacia CE menores hasta los 18 mbbp, seguidamente permanecen constantes hasta el final del pozo. Los valores menos conductivos encontrados entre los 15 y los 18 mbbp podrían estar indicando la descarga subterránea del sistema al mar. La particularidad observada entre los 15 y los 20 mbbp no fue identificada en el perfilaje de julio de ese mismo año. Asimismo se obtuvo un valor aproximado para la zona de la relación agua dulce – agua salada de 15 a 20°.



7.13 Modelos conceptuales propuestos para las interfases en Montecarlo, Valeria del Mar y Carilo.

En el pozo CSC1 (Cariló) presentó un comportamiento similar en los dos perfilajes realizados. Se reconoce un doble quiebre, el primero se produce a los 16 mbbp desde 2000 a 5500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que el



segundo a los 23 metros de profundidad alcanzando CE de 24.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En esta zona, los indicios citados muestran que la explotación de agua subterránea genera un avance de agua salada hacia el continente. En este caso el registro de nivel obtenido en el pozo P34 ubicado por detrás de la duna de playa permite estimar un ángulo aproximado entre 10 y los 20° para la zona de interfase.

7.6 CARACTERIZACIÓN ISOTÓPICA

Los valores de $\delta^{18}\text{O}\%$ y $\delta^2\text{H}\%$ conjuntamente con el exceso de deuterio, la concentración de Cl^- y la CE determinados para noviembre de 2014 se pueden observar en la tabla 7.4, mientras que los correspondientes a marzo de 2012 se muestran en la Tabla 7.5.

SECTOR	POZO MONITOR	$\delta^{18}\text{O}\%$ (VSMOW) ± 0.3	$\delta^2\text{H}\%$ (VSMOW) ± 1	<i>d</i>	Cl^- (mg/l)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
OESTE	F35	-5,7	-31	14	9,1	1033
	F19	-4,6	-25	12	9,2	358
	P15	-4,6	-25	12	122	1404
	P35	-5,1	-28	14	26,8	700
	F36	-3,6	-17	11	72,8	2116
	CSMA1	-4,1	-22	11	79,7	1092
	P8	-5,5	-29	15	13,1	393
	CSMA2	-3,9	-21	10	86,7	1234
	P37	-4,1	-22	11	94,4	1126
	CSMA3	-3,9	-19	12	25,2	752
	F42	-4,6	-25	12	161,1	1602
	F38	-4,8	-26	12	50,6	514
	P3	-4,8	-25	13	19,2	354
	P2	-5,3	-26	16	18,9	581
CENTRAL	OF1	-4,6	-24	13	37,6	483
	F40	-4,7	-26	12	28,8	573
	OS1	-5	-27	13	17,2	539
	F41	-6,7	-42	12	15,1	614
	P24	-4,8	-26	12	17,2	345
	P21	-5,3	-28	14	20,9	516
	P33	-5,1	-27	13	109,8	906
	CSC2	-4,8	-26	12	69,4	1208
	CSCALP	-5	-26	14	32	623
COSTERO	CSVM	-4,7	-26	12	1005	3513
	P30	-4,1	-22	11	52,8	1071
	P34	-4,6	-24	12	218	1482
	P5	-4,9	-26	13	21	334,4
	CSC1	-4,6	-25	11	224,7	4740
	F39	-4,9	-26	13	91,4	935
	CSPN	-4,4	-23	12	103,5	1015
	CSMO	-4,8	-26	12	128	1095
	F5-P5	-5,3	-32	11	30,2	613
	CSP	-4,4	-25	10	355,8	6080
	P14	-4,7	-25	12	39,3	709

Tabla 7.4 Valores isotópicos obtenido para el censo de muestreo isotópico realizado en noviembre 2014. (El término “d” hace referencia al exceso de deuterio).



SECTOR	NOMBRE	$\delta^{18}\text{O} \text{‰ (VSMOW)} \pm 0.3$	$\delta^2\text{H} \text{‰ (VSMOW)} \pm 1$	d	$\text{Cl}^- \text{ (mg/l)}$	$\text{CE} \text{ (}\mu\text{S)}$
OESTE	F35	-5,5	-31	13	6,4	632
	F19	-4,9	-27	12	4,5	353
	P15	-5,1	-28	13	22	1293
	P35	-5,1	-28	13	11,3	648
	F36	-4,1	-21	12	14	1525
	P8	-5,5	-31	13	4,4	326
	P37	-4,4	-24	11	22,8	1083
	F38	-4,9	-27	12	5,8	514
	Madariaga	-2,6	-15	7	2441	11320
	F42	-5,0	-27	13	51,8	1544
	P3	-5,0	-26	14	5	335
	P5	-5,1	-28	13	4,8	298,5
CENTRAL	OS1	-5,8	-33	14	6,4	538
	F41	-5,7	-30	16	15,1	680
	OF1	-6,5	-39	13	4,3	409
	P24	-4,9	-28	12	4,3	316
	P21	-5,3	-29	13	5	407
	P33	-5,0	-27	13	22	720
	P2	-5,1	-28	13	5,7	487
	F40	-5,0	-27	15	51,8	1544
COSTERO	P34	-4,9	-27	13	55,3	1458
	P22	-5,1	-28	13	12,8	587
	P30	-4,5	-25	11	15,6	787
	F39	-5,3	-29	14	44,8	962
	F5-P5	-6,2	-37	13	11,3	482
	P14	-4,8	-27	12	7,1	751

Tabla 7.5. Valores isotópicos obtenidos para el censo de muestreo isotópico realizado en marzo de 2012. (El término “d” hace referencia al exceso de deuterio).

En marzo de 2014, los rangos de variación para $\delta^{18}\text{O} \text{‰}$ y $\delta^2\text{H} \text{‰}$ se encuentran entre -6,7 y -3,6‰ para el primero y entre -42 y -17‰ para el segundo, mientras que la variación para el exceso de deuterio es entre un 10 hasta un 16%.

En noviembre de 2012, los valores de $\delta^{18}\text{O} \text{‰}$ y $\delta^2\text{H} \text{‰}$ no difieren significativamente respecto a los hallados durante noviembre de 2014. Los rangos de variación para el $\delta^{18}\text{O} \text{‰}$ oscilan entre los -6,5 y -2,6‰, mientras que para el $\delta^2\text{H} \text{‰}$ lo hacen entre -39 y -15‰, en tanto que los excesos para el deuterio oscilan entre un 7 y 16%.

En las figuras 7.14 y 7.15 se muestra la distribución areal de los contenidos $\delta^{18}\text{O} \text{‰}$ correspondientes a marzo de 2012 y noviembre de 2014. En ambos, los contenidos más empobrecidos se sitúan en el sector central del cordón en la localidad de Pinamar mientras que aquellos valores relativamente más enriquecidos se distribuyen en ambas márgenes encontrándose los más enriquecidos en el sector de la llanura deprimida al oeste.



En las figuras 7.16 y 7.17 se indican las distribuciones de los contenidos de $\delta^2\text{H}$ ‰ para noviembre de 2012 y marzo de 2014. Si bien se advierte una distribución homogénea de la composición en ambos casos, se reconocen sectores preferenciales de recarga evidenciados por aquellos valores isotópicamente más empobrecidos.

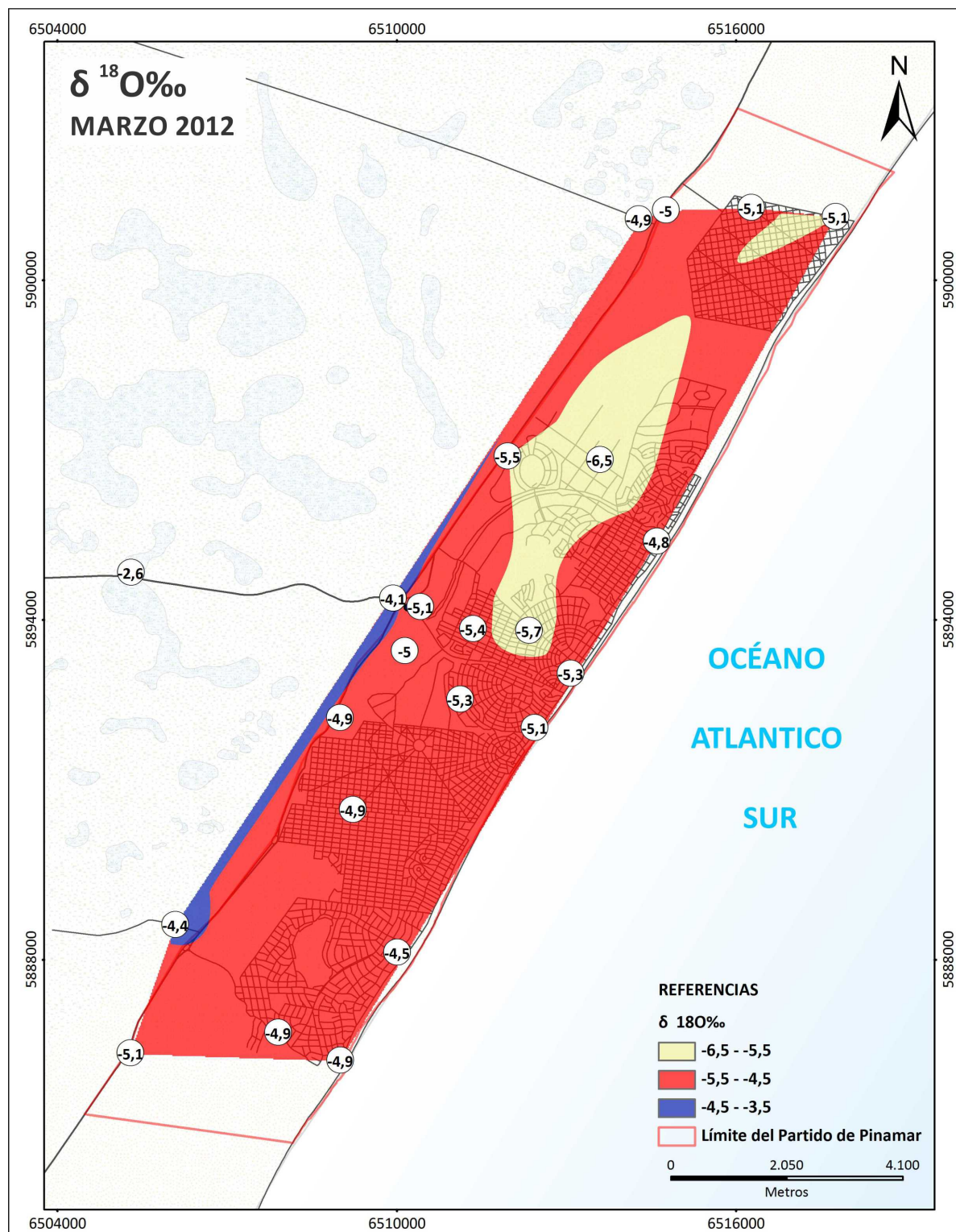


Figura 7.14 Mapa de distribuciones de contenidos de $\delta^{18}\text{O}$ ‰ para el censo de muestreo isotópico de marzo de 2012.

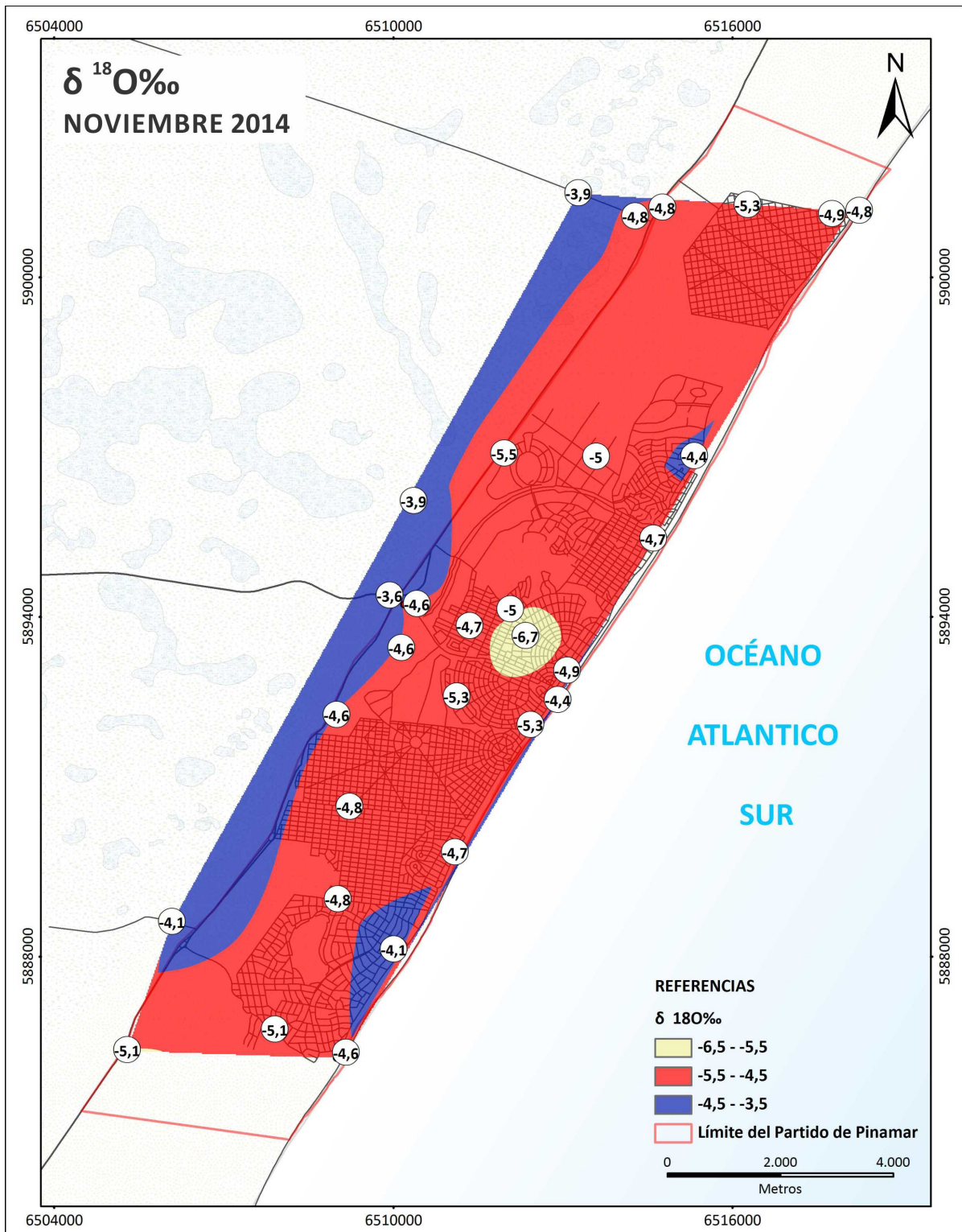


Figura 7.15 Mapa de distribuciones de contenidos de $\delta^{18}\text{O}$ ‰ para el censo de muestreo isotópico de noviembre de 2014.

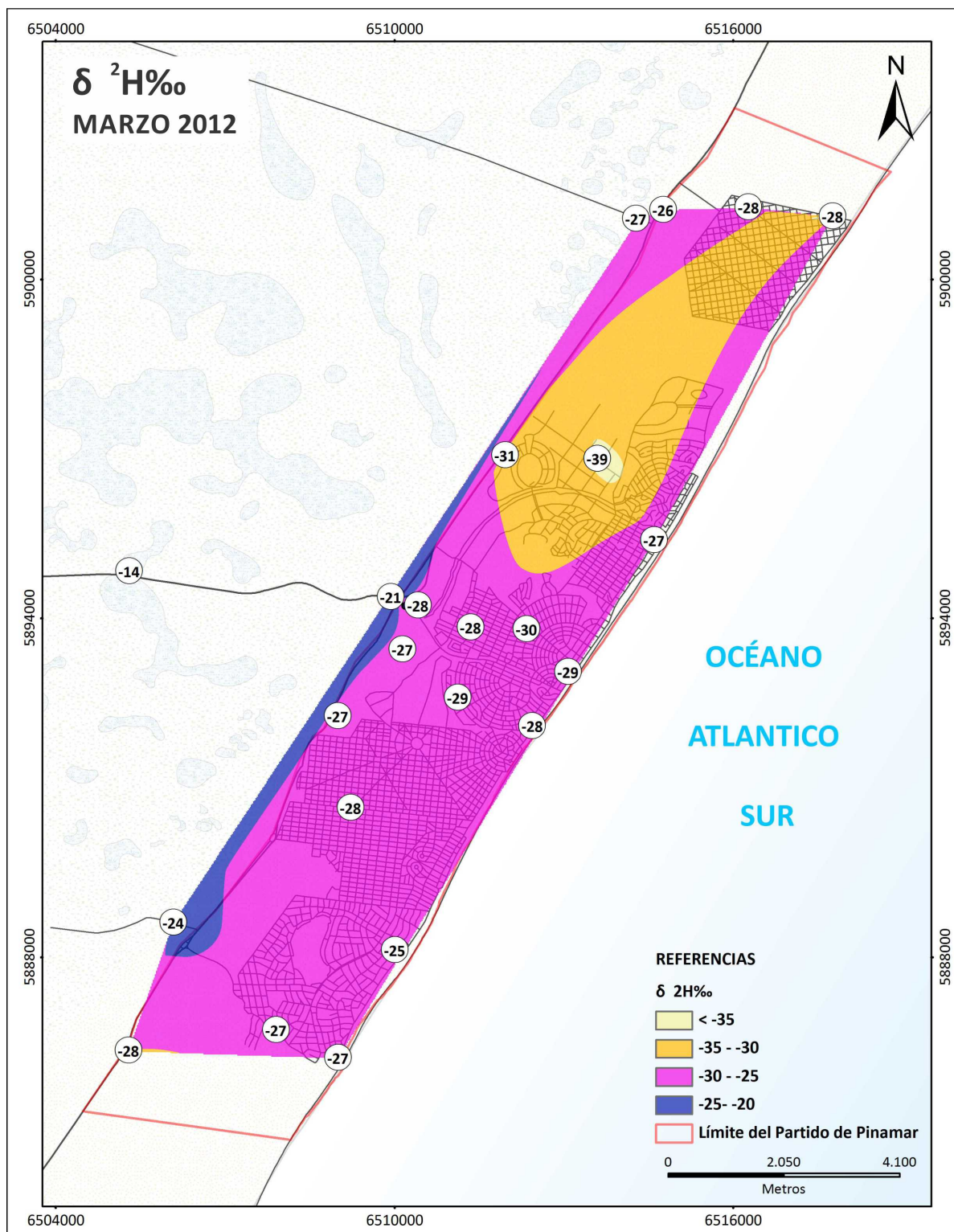


Figura 7.16 Mapa de distribuciones de contenidos de $\delta^2\text{H}\text{‰}$ para el censo de muestreo isot

ópico de marzo de 2012.

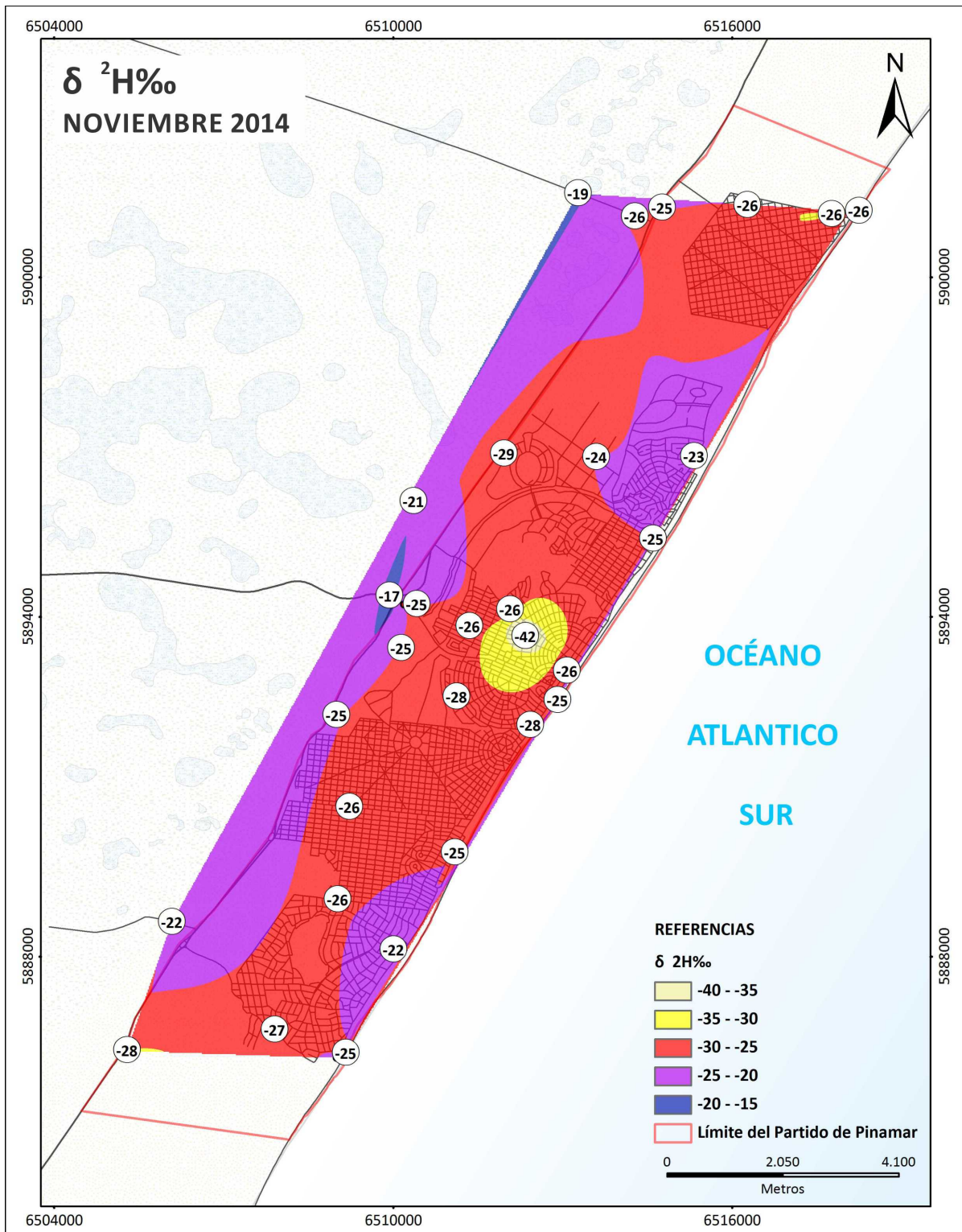


Figura 7.17 Mapa de distribuciones de contenidos de $\delta^2\text{H} \text{‰}$ para el censo de muestreo isotópico de noviembre de 2014.

Los mapas de distribuciones de $\delta^{18}\text{O}$ y de $\delta^2\text{H}$ presentan comportamientos similares reconociéndose un agrupamiento de los valores isotópicamente más empobrecidos en el sector central del cordón, mientras que aquellos que se encuentran relativamente menos empobrecidos se distribuyen en los flancos oriental y occidental de esta geoforma.



En la figura 7.17 se han representando contenidos de $\delta^{18}\text{O}$ vs. $\delta^2\text{H}$ obtenidos para noviembre de 2014 junto a las líneas meteóricas locales *i.e.*: $\delta^2\text{H}\text{‰} = 8 \delta^{18}\text{O}\text{‰} + 12/14$ definidas por Dapeña y Panarello, 2004 y Dapeña et al., 2010 para Buenos Aires y Azul. En términos generales la composición isotópica de las muestras se corresponde con la composición isotópica promedio de las lluvias. Sin embargo, se observa el caso del pozo F41 ubicado en el sector central de Pinamar presenta una composición más empobrecida la cual podría responder a un sector de infiltración preferencial de precipitaciones. Diferente es el caso de pozos ubicados en la llanura deprimida (Pozos CSMA1, CSMA2, CSMA3, F36 y P37) en donde se advierten aguas más enriquecidas y con mayor salinidad que podrían estar asociadas a evaporación en las lagunas temporarias o algún proceso de mezcla.

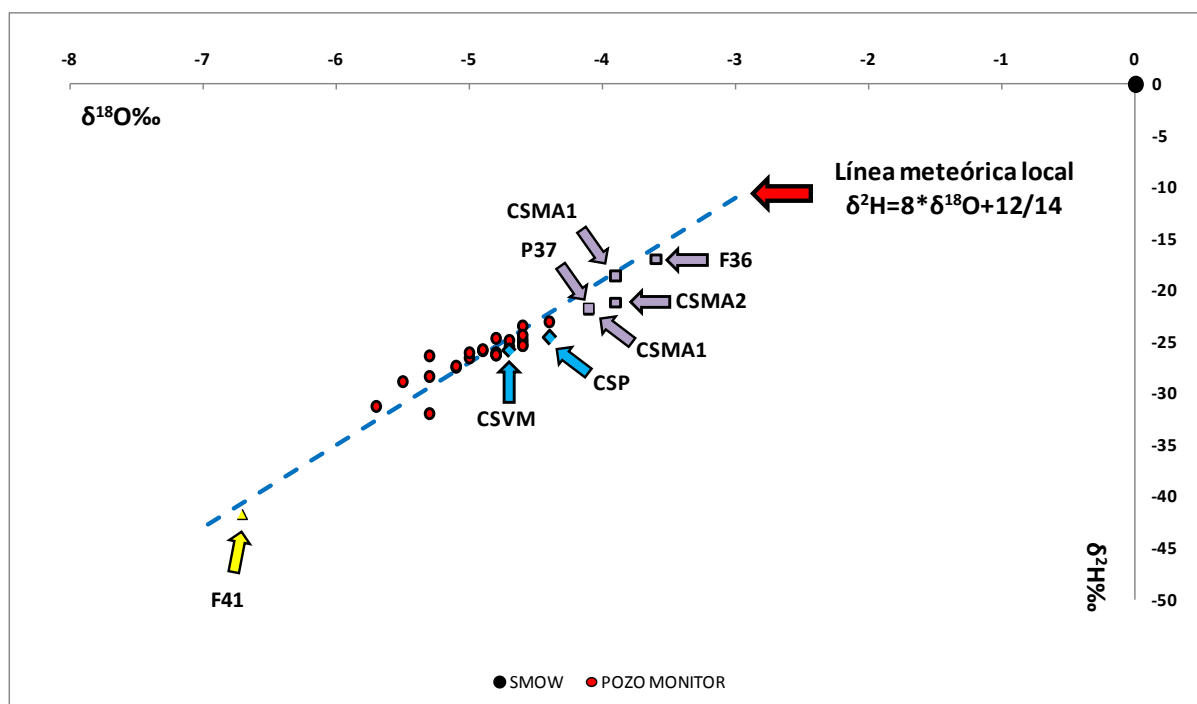


Figura 7.18 Gráfico $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ vs. $\delta^2\text{H}\text{‰}$. Censo de muestreo isotópico realizado en Noviembre 2014.

En el caso particular de las perforaciones profundas CSP y CSVN (Ver figura 7.18) ubicadas en la zona de playa de Pinamar, interesa conocer los procesos que permitan relacionar los valores de Cl^- , CE y la rCl^-/Br^- con los isotópicos hallados en cada caso y su posible vinculación con procesos una mezcla con el agua de mar. Para tal fin en las figuras 7.19 y 7.20 se han graficado las relaciones existentes entre CE vs. $\delta^2\text{H}$ y Cl^- vs. $\delta^2\text{H}$.

En el pozo CSP de Pinamar los valores para la rCl^-/Br^- (2004,8) y la CE ($6080 \mu\text{S}/\text{cm}$) (Ver mapa N°21 en anexo) permiten suponer un contacto con la zona en que se relaciona el agua dulce con el agua salada. De este modo los valores isotópicamente relativamente más enriquecidos son explicados a partir de un proceso de mezcla con el agua de mar (Gonfiantini y Araguás, 1988). La muestra CSC1 presentó una



conductividad de 3015 $\mu\text{S/cm}$ representando un término intermedio entre los pozos CSP y CSVM, aunque en este caso dicho valor no parece responder a las concentraciones de Cl^- determinadas (224,7 mg/L).

Diferente es el caso de la perforación CSVM, en donde las CE relativamente bajas (3513 $\mu\text{S/cm}$) no se corresponden ni con las concentraciones Cl^- medidas (1005 mg/L) ni con los contenidos isotópicos determinados ($-4,7 \delta^{18}\text{O}\text{‰}$ y $-25,5 \delta^2\text{H}\text{‰}$). Esta situación podría explicarse a partir de existencia de una descarga regional en donde los valores de Cl^- no serían aportados exclusivamente por el mar sino por la descarga regional reconocida a partir de la inflexión negativa (menores conductividades) observada entre los 15 y 18 mbbp (Hidrofacies E) en el perfilaje del 03/2014. Los bajos contenidos de Br obtenidos ($<0,1$ mg/L) en este caso confirmarían dicha hipótesis.

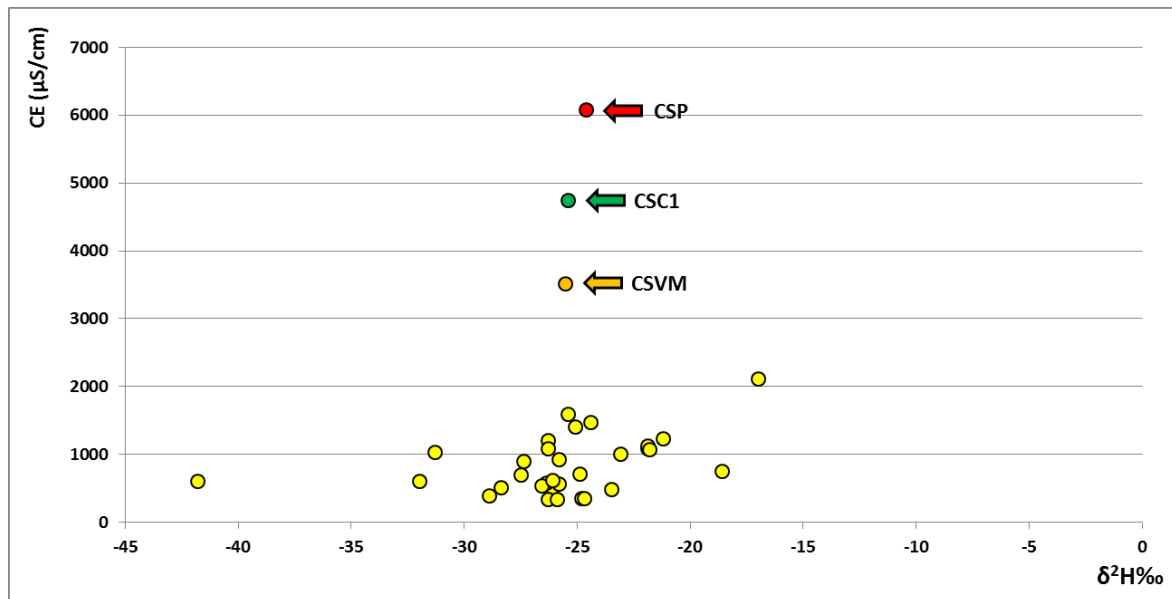


Figura 7.19 Gráfico CE vs. $\delta^2\text{H}\text{‰}$. Censo de muestreo isotópico realizado en Noviembre 2014 pone unidades a CE.

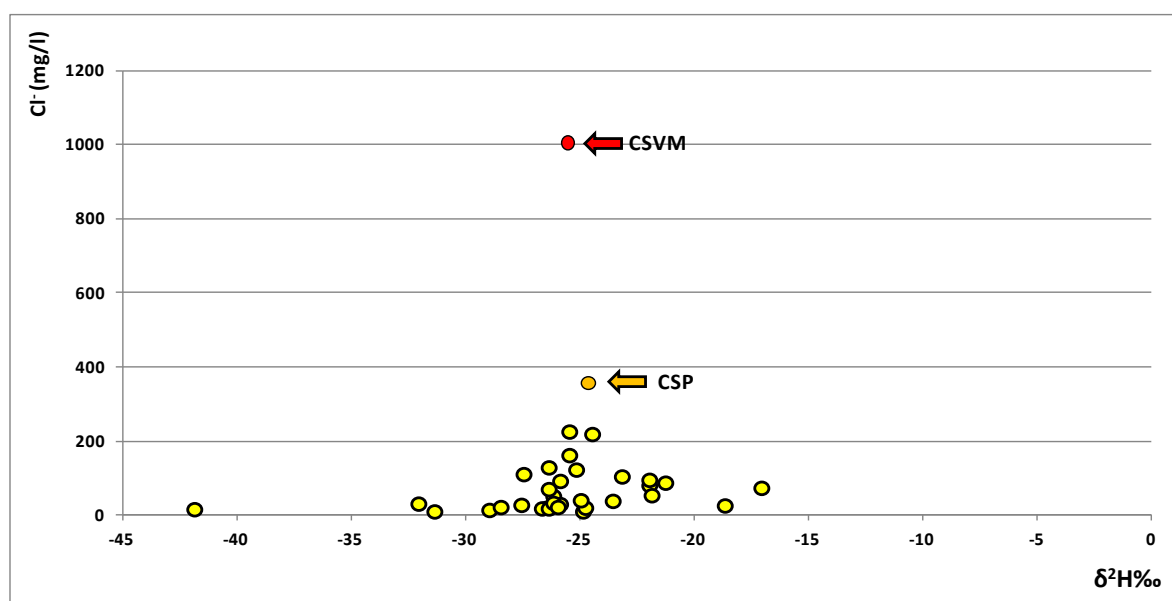


Figura 7.20 Gráfico Cl^- vs. $\delta^2\text{H}\text{‰}$. Censo de muestreo isotópico realizado en Noviembre 2014.



La figura 7.21 indica los valores isotópicos en marzo 2012. Tal como se puede observar, la muestra “Madariaga” presenta el valor más enriquecido de toda la serie desde el punto de vista isotópico. El exceso de deuterio obtenido ($d=7$) y su elevada salinidad pueden deberse a dos causas: una, la infiltración de agua previamente evaporada y otra debido a un proceso de mezcla.

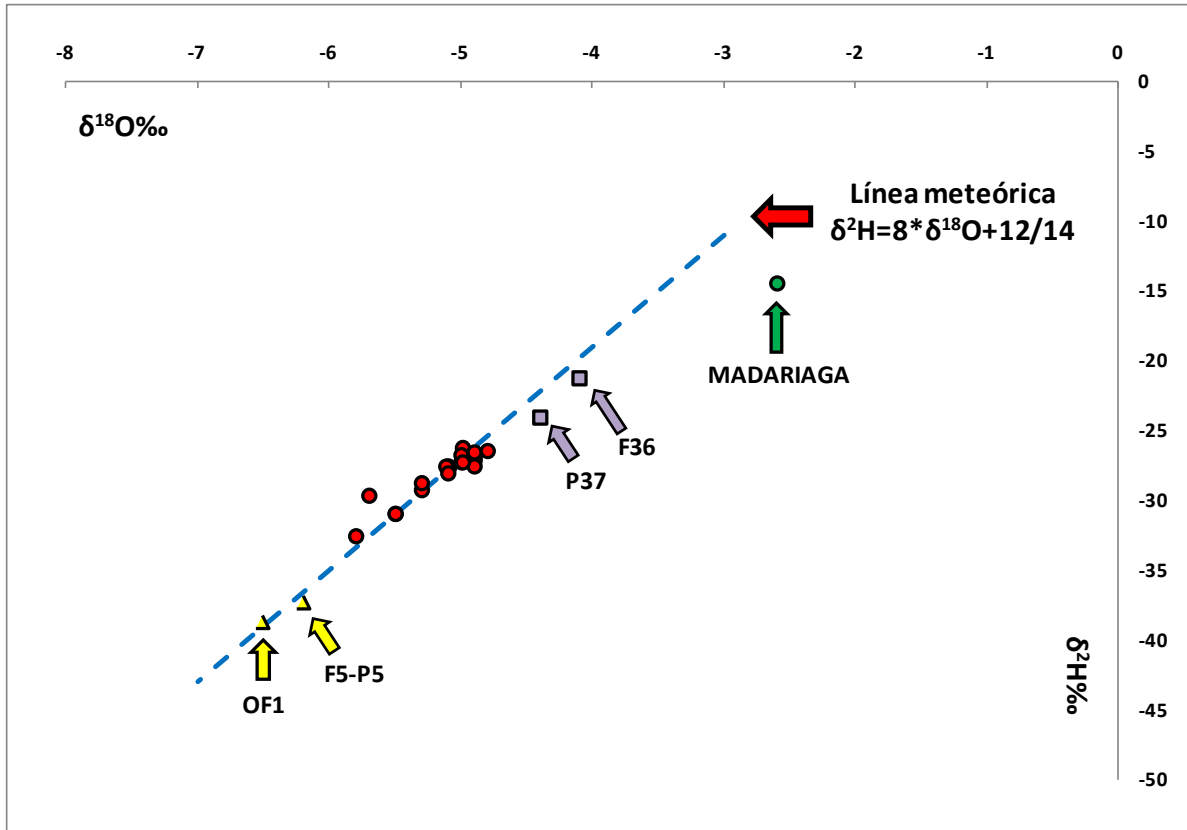


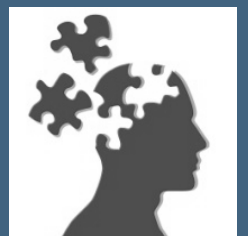
Figura 7.21 Gráfico $\delta^{18}\text{O}$ vs. $\delta^2\text{H}\text{‰}$. Censo de muestreo isotópico realizado en marzo de 2012.

Del mismo modo los valores isotópicos obtenidos para los pozos F36 y P37, ambos ubicados en la llanura deprimida, permiten inferir un incipiente proceso de evaporación.

Los contenidos determinados coinciden en términos generales con los hallados en relevamientos de carácter regional por Levin et al. (1988), Panarello (1992) y Panarello et al. (1993) para el cordón costero en las localidades de San Clemente, Santa Teresita, San Bernardo, Mar de Ajó, Pinamar y Villa Gesell. A su vez estos autores, de acuerdo a las concentraciones de tritio, muestran la presencia de aguas de infiltración reciente y aguas con tiempo de residencia de al menos 30 años en los pozos profundos.

CAPÍTULO 8

MODELO CONCEPTUAL





CAPITULO 8 | MODELO CONCEPTUAL

Se plantea un modelo conceptual para el funcionamiento del sistema geohidrológico (Figura 8.1) desarrollado en la parte superior de la secuencia sedimentaria contemplando esencialmente al “cordón costero” hasta una profundidad del orden de 50 m.

Geológicamente el sistema comprende:

- **Pleistoceno superior**, que incluye a “limos arcillosos con intercalaciones carbonáticas” con interdigitaciones de lentes o mantos de “arena muy fina”.
- **Holoceno temprano**, que abarca el desarrollo coetáneo de “arenas medianas” relacionadas a barreras transgresivas y “arcillas grises con intercalaciones arenosas” formadas en un ambiente de baja energía.
- **Holoceno tardío**, representado por las “arenas finas” de la cadena de médanos actual.

Estas unidades reflejan la evolución de un área costera asociada a procesos transgresivos y regresivos que se caracterizan por una sedimentación con fuertes variaciones laterales tanto en espesores como en su composición litológica.

La aplicación de este esquema desde un punto de vista hidrogeológico posibilita reconocer las siguientes hidrofacies (unidad sedimentaria homogénea que, formada bajo condiciones particulares, conduce a un comportamiento hidrogeológico particular):

- A (arena fina con conchilla): acuífero que contiene a la zona no saturada y a la capa freática, con resistividades mayores 200 Ω m para la primera y entre 20 y 150 para la segunda. Los espesores oscilan entre los 2 y los 15 m. Los valores de T y K se sitúan entre los 110 y los 130 m^2/d y entre los 8 y 12 m/d , mientras que el almacenamiento (S) es de 0,15.
- B (arcilla gris con intercalaciones arenosas + horizontes orgánicos): nivel acuitardo entre la hidrofacies A y C con espesores máximos de 12 m. Su resistividad es menor a los 10 Ω m en tanto que los valores de T' y K' son de $1 \times 10^{-4} \text{ m}/\text{d}$, $1 \times 10^{-5} \text{ d}^{-1}$ en cada caso.
- C (arenas medias): nivel acuífero con espesores que alcanzan los 12 m en el sector central. Los rangos de transmisividad y permeabilidad van de los 45 y los 70 m^2/d y de 10 y los 20 m/d , mientras que el de almacenamiento es de $1 \times 10^{-3/-4}$. Los valores de resistividad varían entre los 20 y 60 Ω m.



- D (limos arcillosos con intercalaciones carbonáticas): nivel acuitado entre las hidrofacies C y E con valores de T' y K' son de $1 \times 10^{-2/3}$ m/d, $1 \times 10^{-3/4}$ d⁻¹ en cada caso y cuyos espesores máximos alcanzan los 40 m.
- E (lentes arenosas muy finas): unidad acuífera incluida en forma de lentes de hasta 20 m de espesor dentro de las hidrofacies D. Los valores de T y K se sitúan entre los 15 y los 150 m²/d y entre los 4 y 40 m/d, mientras que el almacenamiento se encuentra en el rango de $1 \times 10^{-3/4}$.

Este sistema geohidrológico se caracteriza por su continuidad hidráulica, con una variada conexión entre los niveles acuíferos, la cual es función de la presencia y variaciones en el espesor de los niveles acuitados.

El flujo subterráneo de la capa freática (hidrofacies A) está representado por curvas equipotenciales orientadas en forma paralela a la costa, con una divisoria de agua subterránea que tiende a coincidir con las máximas alturas topográficas del cordón costero y sentidos de flujo subterráneo hacia el este (mar) y hacia al oeste (continente). El flujo subterráneo se desarrolla mayormente entre las equipotenciales de 6 y 2 msnm con gradientes hidráulicos que van desde 1 a 4 m/km.

El mapa de flujo de las hidrofacies D y E se manifiesta también con curvas equipotenciales paralelas a la costa desde la cota de 3,5 msnm con un gradiente de 0,7 m/km y un sentido de flujo sureste hacia el mar.

La capa freática se recarga naturalmente en forma directa por infiltración de los excesos de la precipitación.

La recarga de las unidades profundas se produce por filtración vertical en forma indirecta desde la capa freática tal como se deduce de las diferencias de carga hidráulica, siendo ello más manifiesto en los sectores topográficamente más altos.

Las coberturas del suelo, que incluyen forestación, urbanización y médanos con escasa vegetación o desnudos muestran diferentes condiciones de infiltración que se reflejan en la configuración del flujo de la capa freática. En este sentido se reconocen mayores excesos en el suelo desnudo (470 mm/año) con respecto a suelo forestado (261 mm/año), reflejando condiciones de mayor evapotranspiración para la cobertura arbórea.

Las características hidroquímicas e isotópicas confirman las condiciones de recarga y flujo subterráneo que se deduce de las condiciones de flujo. Se aprecia un aumento de los valores de conductividades eléctricas en ambos sentidos de flujo el cual es acompañado por un incremento de las concentraciones iónicas, en particular la del HCO_3^- desde valores de 200 hasta 500 mg/L, del Na^+ desde 50 a 100 mg/L y del Cl^- desde 20 a 80 mg/L. Asimismo la distribución de los contenidos isotópicamente más empobrecidos en el sector central del cordón permiten deducir áreas preferenciales de recarga.



En este sentido, la elevada conductividad ($11320 \mu\text{S/cm}$), el incremento en las concentraciones de los iones Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ y Mg^{++} y los contenidos isotópicamente más enriquecidos en la llanura deprimida permiten reconocer diferencias en cuanto a los procesos que operan en el cordón costero en especial los vinculados con la evaporación y mezcla en el primer caso.

Con el objeto de representar de manera integral los efectos de la actividad antrópica en la figura 8.2 se ilustran los principales efectos producto de la actividad antrópica sobre el modelo conceptual anteriormente desarrollado.

Localmente la existencia de explotación de agua subterránea provoca conos o áreas de abatimiento que se reconocen en las fluctuaciones de los niveles freáticos y en la evolución de los mapas de flujo subterráneo. Se diferencian dos tipos de captaciones para el abastecimiento de agua potable que, con profundidades que van desde los 20 a los 25 m, extraen un caudal promedio de 12 a $18 \text{ m}^3/\text{h}$, y las particulares que con menos de 12 m extraen entre 2 y $4 \text{ m}^3/\text{h}$ siendo destinadas principalmente al riego de parques y jardines y eventualmente para el consumo humano. La relación entre estas últimas perforaciones y la falta del sistema cloacal en representa un potencial riesgo para la población en cuanto a las características hidroquímicas de las aguas alumbradas (ver ítems 6 y 7 en Figura 8.2). Asimismo la figura 8.2 también permite apreciar que, de acuerdo a su posición en el cordón, las perforaciones que se ubican en los 500 m anteriores a la línea de costa captan dos niveles acuíferos diferentes (hidrofacies A y C).

Lo mismo ocurre con la recarga artificial que se genera a partir de la planta de tratamiento de efluentes líquidos cloacales produciendo una deformación de las líneas de flujo en este sector.

Las actividades antrópicas relacionadas con la explotación del agua subterránea, la recarga desde la planta de tratamiento y la urbanización carente de servicios de saneamiento también tiene implicancias en la composición química e isotópica del agua.

En el caso de la planta de tratamiento ubicada en la localidad en Pinamar, la principal consecuencia se relaciona con infiltración de aguas parcialmente tratadas cuyo contenido de nitratos es relativamente elevado ($20\text{-}30 \text{ mg/L}$ de NO_3^-). La misma problemática se aprecia en Pinamar ($10\text{-}20 \text{ mg/L}$) y Cariló ($30\text{-}40 \text{ mg/L}$ de NO_3^-) aunque en estos casos el origen se encuentra vinculado a deficiencias en el sistema de saneamiento o bien a la falta de prestación de dicho servicio. La conexión de las hidrofacies A y C en los sectores costeros representa un potencial deterioro de la calidad química de esta última en función de los contaminantes pudieron ser volcados al terreno en esta zona.

Otro de los efectos asociados a la explotación se verifica a partir del avance del frente salino identificado a partir de los abruptos cambios de la conductividad eléctrica en profundidad en las localidades de Pinamar, Valeria del Mar y Cariló.

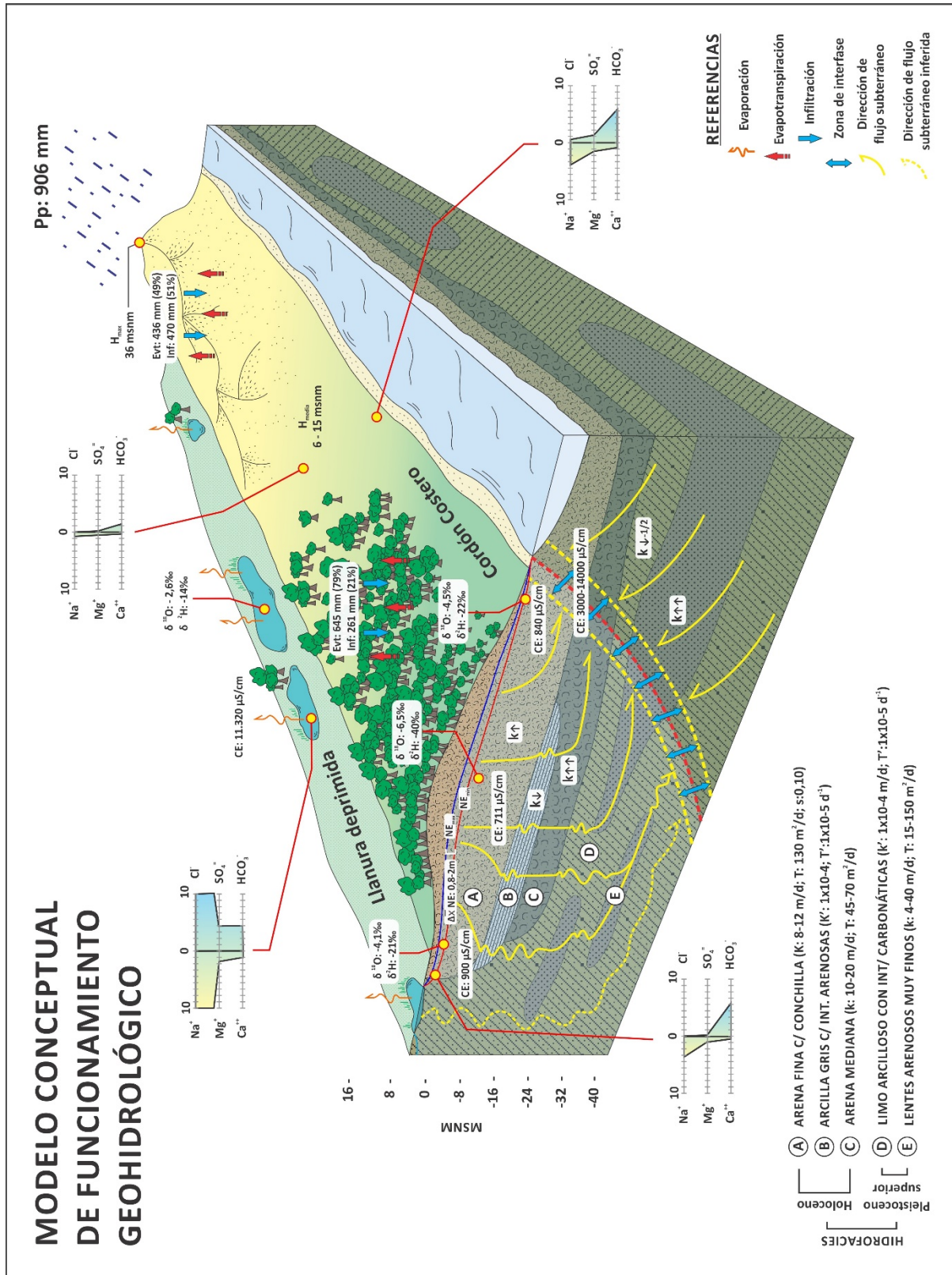


Figura 8.1 Modelo conceptual de funcionamiento geohidrológico.

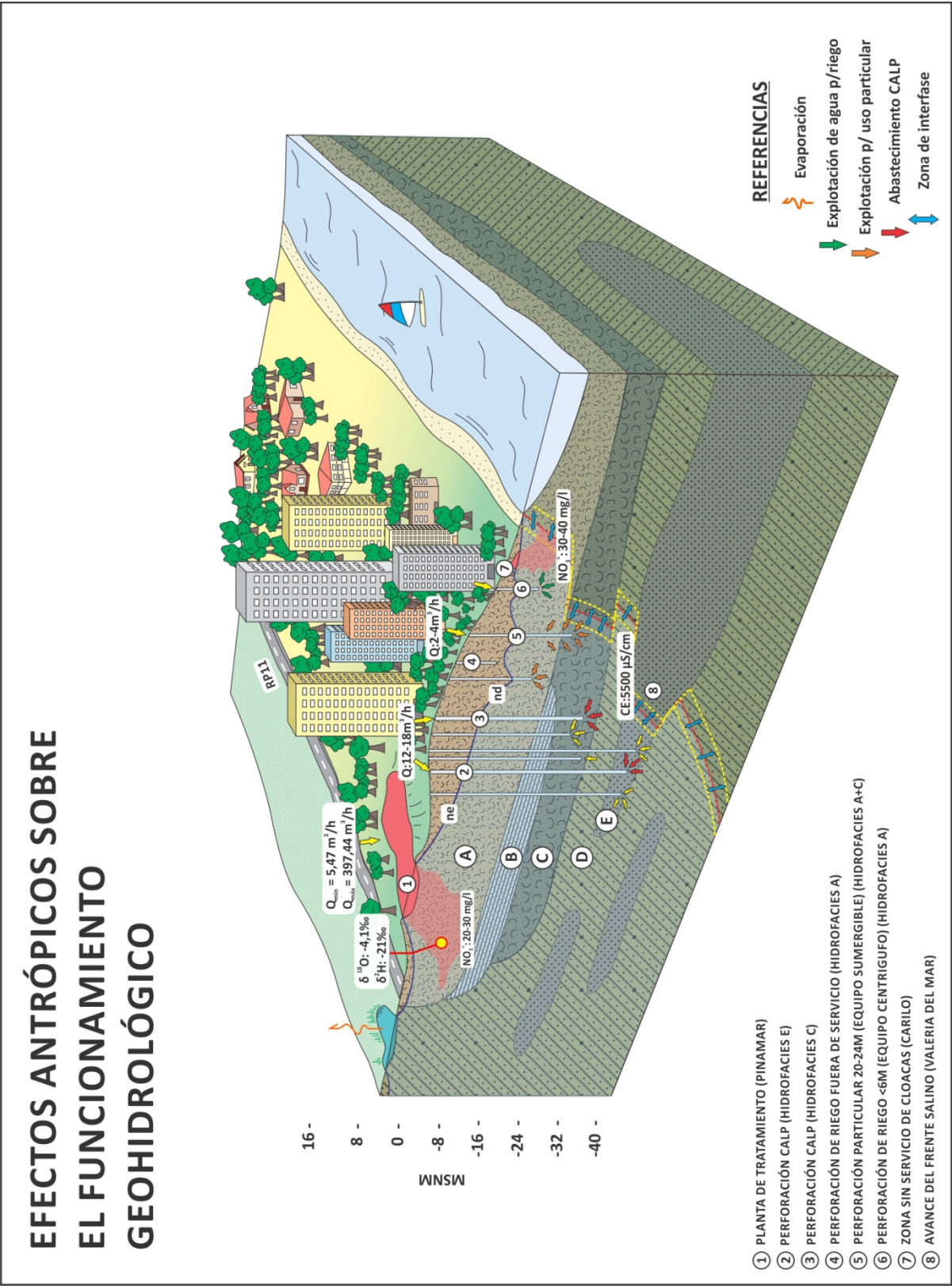


Figura 8.2 Principales efectos antrópicos sobre el modelo geohidrológico conceptual propuesto.

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES





CAPITULO 9 | CONCLUSIONES

Las tareas realizadas permitieron caracterizar el sistema geohidrológico de interés para el abastecimiento de agua dulce en el Partido de Pinamar. Este sistema se desarrolla hasta los 50 m de la secuencia sedimentaria de edad Pleistocena superior – Holocena.

A partir de los relevamientos de campo se valoraron las condiciones geológicas y geomorfológicas de superficie, que integradas en un SIG permitieron la elaboración de un esquema hidrológico regional. Ello facilitó el reconocimiento de la evolución de diferentes usos del suelo y su influencia en el balance hídrico, en especial los relacionados con las modificaciones en el proceso de recarga.

La ejecución e interpretación de perforaciones brindó las herramientas para la elaboración de un esquema geológico integrado por 6 asociaciones litológicas en profundidad, que incluyen a arenas, limos y arcillas y sus variedades intermedias con fuertes variaciones laterales y verticales. Los relevamientos geofísicos fueron un apoyo para su descripción y correlación.

Se formuló un modelo geológico a partir de un software específico que, en forma conjunta con la interpretación de la evolución geológica, refleja la complejidad del medio. Ello posibilitó identificar los procesos geológicos que han dado lugar a la actual configuración del subsuelo.

Con el objeto de simplificar y vincular el sistema geológico con las propiedades hidráulicas del sistema se empleó el término hidrofacies, que refleja las condiciones bajo las cuales se han formado los cuerpos sedimentarios y su influencia hidrogeológica. Se diferenciaron 5 hidrofacies 3 de las cuales conforman niveles acuíferos (hidrofacies A, C y E), mientras que las dos restantes a niveles acuitados (hidrofacies B y D). A través de perfiles hidrogeológicos se evaluó la configuración regional del sistema en donde es posible advertir la continuidad hidráulica de la hidrofacies A, la distribución y extensión de las hidrofacies B y C, y la forma en que se vinculan las hidrofacies D y E.

Este esquema fue la base para la caracterización hidrodinámica e hidroquímica del sistema natural y de los efectos derivados de la actividad antrópica.

A partir de la medición sistemática de niveles de agua subterránea se identificó la configuración de la capa freática y su relación con las unidades más profundas. La capa freática se encuentra incluida dentro de la hidrofacies A (arenas finas con conchilla) la cual se extiende con diferentes grados de expresión en todo el cordón costero, en tanto que las hidrofacies C y E representan a niveles acuíferos más profundos.

La morfología freática es radial con curvas equipotenciales orientadas en forma paralela a la costa indicando un sentido de flujo subterráneo hacia el continente y otro hacia el mar. La divisoria de aguas subterráneas coincide con las máximas alturas topográficas, en tanto que se advierten diferencias en



cuanto a los gradientes hídricos a un lado y al otro de la divisoria. La comparación entre los mapas de flujo someros y profundos permite reconocer la influencia de comportamientos locales para el primero y regionales para el segundo.

Las curvas equipotenciales y los gradientes hídricos para los sectores norte, centro y sur del partido permiten reconocer la influencia de la explotación de agua subterránea. Se destaca principalmente un desplazamiento hacia el oeste de la divisoria debido a la mayor extracción que se realiza en Ostende, Valeria del Mar y Cariló. Además, en el este del cordón, se reconocen los efectos generados por la infiltración artificial de las aguas depuradas en la planta de tratamiento de efluentes líquidos cloacales.

Los mapas de flujo seriados muestran comportamientos cíclicos que indican una dependencia con el régimen de las precipitaciones, que es la única fuente de recarga natural del sistema. Se reconoce una profundización de los niveles en el verano como consecuencia de los menores excesos de agua en el balance hídrico y de las condiciones de mayor extracción. A causa de ello, los niveles se encuentran más próximos a la superficie durante los meses más fríos. Los valores de recarga y agotamiento obtenidos a partir de los mapas de isovariación semestral confirman dicho comportamiento mostrando, además, un buen grado de correlación con los valores obtenidos en los balances hídricos.

La evolución de los niveles del agua subterránea muestran una serie de diferencias en cuanto a los comportamientos observados en los diferentes sectores del cordón costero, permitiendo identificar los efectos de las variaciones naturales de aquellos asociados a la actividad del hombre.

La primera de ellas se relaciona con oscilaciones que alcanzan los 2 m en el sector central y disminuyen hacia valores cercanos a la unidad en los sectores oeste y costero. En la segunda los niveles de agua subterránea muestran la influencia de las diferentes coberturas y usos del suelo. El grado de forestación genera un doble efecto, el primero como factor de retención ante las precipitaciones y el aumento de la evapotranspiración limitando el ascenso de los niveles, y el segundo como un amortiguador de las variaciones dado su rol como regulador de la humedad del suelo. La explotación de agua subterránea se reconoce por los abatimientos de nivel verificados en los sectores mas urbanizados.

Los registros de nivel obtenidos a partir de los pares de perforaciones someras y profundas indican una correspondencia entre ambos niveles, y además confirman el sentido vertical descendente del flujo. La evolución de los niveles para cada caso permitió identificar diferentes comportamientos que en algunos casos verifican la influencia del factor hidrogeológico.

Se detectaron bajas eficiencias de las perforaciones del servicio de agua potable dado por marcados diferencias entre los niveles estáticos y dinámicos. Esta condición sitúa a los niveles de explotación en una



posición por debajo del nivel mar generando la inversión del gradiente hídrico con la aparición de conos de depresión como los identificados en las localidades de Pinamar Norte y Valeria del Mar.

La caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas posibilitó advertir el predominio de aguas bicarbonatadas sódicas sobre las cloruradas, en tanto que la evolución muestra el comportamiento típico para aguas de reciente infiltración. Se reconoce un aumento de las conductividades eléctricas del agua en ambos sentidos de flujo acompañado por un incremento de las concentraciones iónicas, en particular la del HCO_3^- , el Na^+ , y el Cl^- . En este caso también es posible identificar las particularidades que surgen del medio natural de aquellas que son producto de la actividad antrópica. En el primer caso las concentraciones ligeramente elevadas de Fe total y Mn^{++} son producto de las características intrínsecas del medio. El segundo se relaciona con la distribución puntual de componentes nitrogenados en el agua. El origen de los compuestos nitrogenados se vincula con el aporte de nitrógeno orgánico al medio receptor, el cual luego de sucesivas transformaciones toma la forma más estable que es el NO_3^- . Si bien los valores encontrados superan los valores de fondo estimados, no se descarta la existencia de procesos de desnitrificación que expliquen los valores hallados en el agua subterránea.

En términos generales se observa una marcada distorsión en la distribución de la mayoría de los analitos en el sector de planta de tratamiento producto de la infiltración de las aguas tratadas.

Tomando como base un sector no antropizado como lo es la localidad de Montecarlo al norte, la valoración relativa de los resultados químicos y en especial de los registros de conductividad eléctrica en los pozos profundos, se establecieron hipótesis acerca de la posición y el ángulo que presenta la relación agua dulce - salada. Los registros de conductividad eléctrica y la rCl/Br confirman un incipiente avance de agua salinizada en Pinamar, Valeria del Mar y Carilo, no descartándose la existencia de este proceso en Ostende. Los resultados obtenidos a partir de los pozos profundos situados al oeste en el partido de General Madariaga no presentaron los indicios necesarios para establecer la posición de la interfase agua dulce-salobre.

En términos generales la composición isotópica de las muestras se corresponde con la composición isotópica promedio de las lluvias locales. Sectores preferenciales de recarga pudieron ser detectados en el centro del cordón a partir de valores isotópicamente más empobrecidos. Además, se aprecia un enriquecimiento en los contenidos de ^{18}O y ^2H hacia ambos sectores de la divisoria confirmando el sentido de flujo. Los valores isotópicamente más enriquecidos se aprecian en el sector oeste vinculados a procesos de evaporación y mezcla con aguas de diferente origen, y en el este a partir de la mezcla con agua de mar.

Los resultados definen un sistema geohidrológico complejo donde las reservas de agua dulce están sujetas a las variaciones en la recarga que se relacionan con las condiciones naturales (climáticas) y de uso del



suelo. A su vez el sistema se caracteriza por su alta vulnerabilidad frente a posibles contaminantes que se generen en superficie.

El sistema de explotación de agua subterránea actual (público y privado) influye en la profundización de los niveles de agua subterránea y en la disminución de las reservas de agua dulce en los sitios de mayor uso del recurso. Además se reconocen procesos de salinización en las proximidades costeras.

Las pautas de manejo del agua deben incluir un replanteo en la distribución de las perforaciones basado en una cuantificación detallada de los ingresos y egresos de agua al sistema geohidrológico. Es necesaria la definición de perímetros de protección para las captaciones que abastecen al servicio de agua potable, así como también prácticas de extracción de agua que contemplen un menor abatimiento del nivel freático. El distanciamiento óptimo entre perforaciones de mayor caudal no debería ser menor a 200 m a los efectos evitar fenómenos de interferencia entre las mismas.

La creciente demanda de agua en relación a las temporadas de turismo es un factor a tener en cuenta en la planificación del manejo del agua subterránea. La selección de nuevas zonas de captación para cubrir las necesidades de agua potable de un mayor número de habitantes deben seguir las mismas pautas. La operación de un sistema de monitoreo de las condiciones hidrodinámicas e hidroquímicas es una herramienta fundamental para definir el uso racional de las reservas de agua dulce.

Es necesario considerar que una gestión sustentable del agua subterránea requiere de una planificación racional del uso del suelo y la protección ambiental de las reservas de agua dulce. Ello se asocia a la delimitación de áreas de seguridad en las zonas de captación donde se impidan los procesos de urbanización y otras actividades que pueden afectar la calidad del recurso hídrico subterráneo.

En cuanto a la calidad del agua subterránea, la problemática del Fe total y el Mn^{++} son aspectos que deberán estar contemplados en la gestión del recurso hídrico en función de los potenciales peligros que estos representan para la población. En referencia a los componentes nitrogenados, si bien estos actualmente no superan los límites exigidos por las normativas vigentes, es necesario una mejora en cuanto a la distribución y extensión de la zona servida por el sistema cloacal, en particular del sector sur (Cariló), así como también una mejora en la capacidad y eficiencia del proceso de tratamiento de los efluentes cloacales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS





REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen R. G., Pereira L. S., Raes D. & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration (Guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage. N° 56, 290 p.

Ameghino F. (1889). Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. Actas de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, 6:1-1027. Buenos Aires.

Ameghino F. (1908). Las formaciones sedimentarias de la región del litoral de Mar del Plata y Chapdmalal. Anales Museo Nacional de Buenos Aires, 3 (10): 344-428.

Anderson M. P. (1989). Hydrogeological facies models to delineate large-scale spatial trends in glacial and glaciofluvial sediments. Geological Society of American Bulletin, 101: 501-511.

Bocanegra E., Cardoso Da Silva G., Custodio E., Manzano M. & Montenegro S. (2010). State of knowledge of coastal aquifer management in South America. Hydrogeology Journal, 18: 261-267.

Bracaccini I.O. (1972). Cuenca del Salado. Primer Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias, 1:407-418, Córdoba.

Caminos R. (ed.) (1999). Geología Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales 29, 810pp. Buenos Aires.

Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3757-21 y 22 Estación Juancho y Pinamar. ISSN 0327-781. SAGyP - INTA, Buenos Aires.

Cavalloto J.L. (1995). Evolución geomorfológica de la llanura costera ubicada en el margen su del Río de La Plata. Tesis Doctoral N° 635, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad nacional de La Plata. 237 p.

Cavallotto J. L. (2002). Evolución Holocena de la llanura costera del margen sur del Río de la Plata. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 57(4): 376-388.

Cavalloto J. L., Violante R. A & Parker G. (2004). Sea-level fluctuations during the last 8600 years in the La Plata River (Argentina). Quaternary International 114: 155-165.

Chang, M. T. (2006). Forest Hydrology: an introduction to water and forest - 2nd edition. Editorial CRC Taylor & Francis Group. Boca Raton.

Chevotareb I.I., 1955. Applied Chemical Hydrogeology. Prentice Hall, 368 pp



CCP SRL. (2003). Estudio hidrogeológico en la zona sur de Cariló (Pinamar). Informe Técnico.

d'Orbigny A. (1842). Voyage dans l'Amerique meridional, 3(3) Geologie, Paris.

Custodio E. y Llamas M. R. (1983). Hidrología Subterránea. Editorial Omega (2 Vol.) 2359 pp.

Dansgaard W. (1964). Stable isotopes in precipitation. Tellus 16: 436-468.

Dapeña C. & Panarello H.O.(2004). Composición isotópica de la lluvia de Buenos Aires. Su importancia para el estudio de los sistemas hidrológicos pampeanos. Revista Latino-Americana de Hidrogeología, 4:17-25.

Dapeña C., Varni M., Panarello H.O., Ducos E., Weinzentel P. & Usunoff E. (2010). Composición isotópica de la precipitación de la Estación Azul, provincia de Buenos Aires. Red Nacional de Colectores Argentina. En Varni, Entraigas y Vives (Editores).I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras Azul, 21 al 24 de septiembre, Libro de Actas 386-393. Azul, Provincia de Buenos Aires. .

Darwin Ch. (1846). Geological observations on South America. London, 279 p.

Dip C., Perdomo S., Ainchil J. y Rodrigues Capitulo L. (2014). Monitoreo de variaciones temporales de la resistividad a través de Imágenes de Resistividad Eléctrica. Actas de resúmenes del 2do Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. Sante Fe. Argentina

Dozier J. (1992). Opportunities to improve hydrologic data. Reviews of Geophysics. 30(4):315- 331

Edmunds M. & Shand P. (2008). Natural Groundwater Quality. Blackwell Publishing, 469 pp.

Falasca S. & Forte Lay J.A. (2006). Actualización de la evapotranspiración de referencia por el método de Penman-Monteith en la República Argentina. Congreso de AADA. La Plata, Argentina.

Fidalgo F., Colado U. R. & De Francesco F. O. (1973). Sobre ingresiones marinas cuaternarias en los partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena. (Provincia de Buenos Aires). V Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 227-240.

Fidalgo F., Francesco F.O. & Pascual R.(1975). Geología superficial de la llanura bonaerense. 6º Congreso Geológico Argentino, Actas: 103-138, Bahía Blanca.

Fray C. & Ewing, M. (1963). Pleistocene sedimentation and fauna of the Argentine Shelf. I: Wisconsin sea level as indicated in Argentine Continental Shelf sediments. Proceedings Academy of Natural Sciences of Philadelphia 115: 113-126.

Frenguelli J. (1950). Rasgos generales de la morfología y la geología de la Provincia de Buenos Aires. LEMIT, Serie 2: 33, La Plata, 72pp.



Frenguelli J. (1946). Grandes Unidades Físicas del Territorio Argentino. En: Geografía de la República Argentina, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, GAEA. 3:1-114. Buenos Aires.

Frenguelli J. (1957). Neozoico. En Geografía de la Republica Argentina. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, GAEA 2(3): 1-218, Buenos Aires.

Fryberger S. G. (1979). Dune forms and wind regime. A study of global sands seas. Mc Kee (Ed.) Geological Survey Professional Paper 1052: 137–169.

Fucks E. & De Francesco F. (2003). Ingresiones marinas al norte de la ciudad de Buenos Aires. Su Ordenamiento Estratigráfico. II Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Actas: 101-103. San Miguel de Tucumán.

Ghyben, B. W. (1889). Nota in verband met de voorgenomen put boring nabij Amsterdam. The Hague. K. Inst. Ing. Tydschrift, pp 8-22

Gonfiantini R. (1978). Standard for stable isotope measurements in natural compounds. Nature, 271: 534. London

Gonfiantini R & Araguás L. (1988). Los isótopos ambientales en el estudio de la intrusión marina. En: Lopez-Camacho B. & Camacho B (Editores). Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Instituto Geológico y Minero de España. p. 135–190.

González Arzac R., Pérez Spina R., Garay R., Vizcaino A., Remorini G., Campos A., Rascovsky L., García R. & Bravo Molino R (1993). Estado Actual de las fuentes subterráneas en Pinamar y Villa Gesell (Primera etapa: Pinamar). Consejo Federal de Inversiones. Administración General de Obras Sanitarias. 71p

González N. (2005). "Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires". En: Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, Cap. XXII: 359 - 374. La Plata.

Groeber P. (1961). Contribuciones al conocimiento geológico del Delta del Paraná y alrededores. Anales Comisión de Investigaciones Científicas, 5(2):9-54.

Guaraglia D., Rodrigues Capítulo L., Kruse E. & Pousa J. (2013). Las nuevas tecnologías para la medición de niveles de agua subterránea. Agua subterránea Recurso Estratégico: 201-208. La Plata, Edulp, Buenos Aires.

Hantush, M.S. & Jacob C.E. (1955). Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer. American Geophysical Union Transactions. 36 (1): 95-100.



Herzberg, A. (1901). Die wasserversorgung einiger nordseebäder, Jour. Gasbeleuchtung und Wasserversorgung, 44, 815-819, 842-844.

Hunter C. J., Perkins J., Tranter J. & P. Harwick. 2000. Fecal bacteria in the waters and upland area in Derbyshire, England: The influence of agricultural land use. Journal Environmental . Quality 29: 1253-1261.

HYTSA Estudios y Proyectos SA (1999). Diagnóstico Ambiental. Banco de proyectos Pinamar. ENOHSA. Municipalidad de Pinamar.

Ihering H. (1907). Les Mollusques fossil du tertiari et du Cretacé Supérieur de l'Argentine. Anales Museo Nacional Historia natural Serie 3 (7): 1-611.

INDEC (2010). Censo nacional de poblaciones hogares. www.indec.gov.ar (Último acceso 06/04/2015).

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (1989). Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires. Instituto de Suelos. INTA. Buenos Aires. 525 pp.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (1993). Cartas de Suelos de la Republica Argentina ISSN 0327-781X. Centro de Investigaciones de recursos Naturales. Instituto de Suelos área de Investigación en Cartografía de Suelos y Evaluación de Tierras.

Introcaso A. & Ramos V. (1984). La cuenca del Salado. Un modelo de evolución aulacogénica. 9° Congreso Geológico Argentino. 3: 27-46. Buenos Aires.

Isla F. (1995). Efectos de tormentas sudestadas en el litoral bonaerense durante 1993, Argentina. IV Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar, Mar del Plata. Actas: 111.

Isla F. I., Cortizo L.C. & Schnack E. J. (1996). Pleistocene and Holocene beaches and estuaries along the southern barrier of Buenos Aires, Argentina. Quaternary Science Reviews, 13, 833-841.

Isla F. I. & Espinosa M. (1998). Modelo sedimentario de colmatación de pequeños estuarios dominados por limo, Provincia de Buenos Aires, 7^{ta} Reunión Argentina de Sedimentología. Salta. 24-36.

Isla, F. I. & Bertola, G. R. (2005). Litoral bonaerense. En de Barrio, R., Etcheverry, R. O., Caballé, M. F. & Llambías, E. (eds.) Geología y recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, 265-276

Jelgersma S. & Tooley M. J. (1995). Sea Level changes during the recent geological past. Journal of Coastal Research, Holocene Cycles: Climate, Sea Levels, and Sedimentation. 17: 123-139.



Kruse E. & Mas-Plá, J. (2009). Procesos hidrogeológicos y calidad del agua en acuíferos litorales. 2009. Gestión ambiental integrada de áreas costeras; p:29-53.

Kruseman, G.P. & de Ridder N.A. (1994). Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Publication N°47. Wageningen. Netherlands.

Levin M., Albero M.C., Panarello H. O., Hernandez M., Lorenzo F. & Kersfeld A. (1988). Uso de isótopos ambientales (18 O, 2H y 3H) para la determinación de recarga y trazado de procesos hidrodinámicos en un sector costero de la provincia de Buenos Aires. Primera parte. Segundas Jornadas Geológicas Bonaerenses, Bahía Blanca; Actas: 599-607.

Lis G., Wassenaar L.I. & Hendry, M.J. (2008). High-Precision Laser Spectroscopy D/H and 18O/16O measurements of Microliter Natural Water Samples. Analytical Chemistry. 80:287-293.

Loke, M.H. (2004). Tutorial 2D and 3D electrical imaging surveys. Geotomo Software. 128p.

Lowe J.J. & Walker M.J.C. (1997). Reconstructing Quaternary Environments. Prentice-Hall, 446 pp.

Luszczynski, N.J., 1961. Head and flow of groundwater of variable density. Journal of Geophysical Research. Vol. 66, N° 12. pp 4247-4255.

Manzano, M. (2002). El papel de los acuíferos costeros en la gestión del medio natural. Groundwater and Human Development: 2017-2024. Mar del Plata.

Matteoda E. M. (2012). Evaluación hidrodinámica e hidrogeoquímica de la cuenca del arroyo El Barreal para establecer línea de base ambiental, con énfasis en la geoquímica del cromo. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto. 397 pp.

Mazzoni M. (1977). Minerales pesados en una playa lacustre II, caracteres composicionales. Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología. VIII (1-2):9-20.

Mugni. 2005. Prospección de agua subterránea. Fundación Cariló. 2001. (Informe Técnico).

Neuman S.P. (1975). Effect of partial penetration on flow in unconfined aquifers considering delayed gravity response, Water Resources Research. 10 (2): 303-312.

Nichols M. M. y Allen, G. 1981. Sedimentary processes in coastal lagoons. In Coastal lagoon research, present and future. pp 27-80. Paris: UNESCO. Technical Papers in Marine Science, 33.

Orellana E. (1982). Prospección Geoeléctrica en corriente continua. Madrid, España.



Panarello H.O., Levin M., De Felipi R., Lorenzo F., Paladino J. & Vizcaíno A. (1993). Uso de isótopos ambientales (^{18}O , 2H , 3H) para la determinación de recarga y trazado de procesos hidrodinámicos en un sector costero de la Provincia de Buenos Aires. II Parte. Revista de la Asociación Geológica Argentina 48 (3-4):299-306.

Panarello H. (1992). Aguas muy enriquecidas en oxígeno-18 en acuíferos costeros de la Provincia de Buenos Aires, sus posibles orígenes. Terceras Jornadas Geológicas Bonaerenses Actas : 219-222.

Parker G. (1991). Caracterización geológica y geomorfológica del sector Punta Médanos-Pinamar: Informe preliminar, provincia de Buenos Aires. 44 pp.

Parker G. & Violante R. A. (1989). Geología y Geomorfología. Regiones I y II. Punta Rasa - Faro Querandí. Provincia de Buenos Aires. Convenio Consejo Federal de Inversiones y Servicio de Hidrografía Naval, Informe final. 141 pp.

Parker G., Violante R. & Paterlini M. (1996). Fisiografía de la Plataforma Continental. In: Ramos, V., Turic, A. (Eds.), Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina. Relatorio del XIII Congreso Geológico Argentino y 3er Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Buenos Aires, 1: 1-16.

Perdomo S. (2015). Estimación de parámetros hidráulicos subterráneos a partir de estudios de resistividad eléctrica 2D. Tesis doctoral. 219 pp.

Perdomo S., Carretero S., Kruse E. & Ainchil J. (2011). Imágenes de resistividad eléctrica en lentes de agua dulce de la zona costera oriental de la provincia de Buenos Aires. VII Congreso Hidrogeológico Argentino. Salta

Peterson B. (2000). Practical use and application of geophysical logs for hydrogeological and environmental projects, Century Geophysical Corp. Tulsa Oklahoma.

Piper A. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Am. Geophys. Union Trans. 25: 914-923.

Pousa J., Kruse E., Tosi L., Guaraglia D., Bonardi M., Rizzetto F., Schnack, E. 2007. Coastal Processes and environmental hazards: The Buenos Aires (Argentina) and Venetian (Italy) Littorals. Environmental Geology, v.51, p.1307 - 1316,

Rodriguez Capítulo, L & Kruse E. (2011). Balance hidrológico en un área costera medanosa con forestación. Caso de estudio: Partido de Pinamar (Provincia de Buenos Aires). VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la hidrología subterránea. Hidrogeología regional y exploración hidrogeológica. Actas del taller 2: 80-87, Salta.



Rodriguez Capítulo L.; Kruse E. & De Bernardi P. (2012). Influencia de la evolución geomorfológica pleistocena - holocena en la dinámica del acuífero medanoso costero de Pinamar. V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

Rolleri E. (1975). Provincias Geológicas Bonaerenses. VI Congreso Geológico Argentino, Relatorio , Bahía Blanca, 29-54.

Schnack E., Isla F., De Francesco F. & Fucks, E. (2005). Estratigrafía del Cuaternario marino Tardío en la provincia de Buenos Aires. En R.E. de Barrio, R.O. Etcheverry, M.F. Caballé y E. Llambías (eds.) Geología y recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires, 16^{to} Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 159-182, La Plata.

Schnack E.J., Pousa, J.L. & Isla, F.I. (2000). Las fluctuaciones del nivel del mar durante el Cuaternario Revista Museo de La Plata, 3(16): 79-87.

Schneider J.C. & Kruse S.E. (2005). Assessing selected natural and anthropogenic impacts on freshwater lens morphology on small barrier Islands: Dog Island and St. George Island, Florida, USA. Hydrogeology Journal Vol. 14: 131–145.

Schoeller, H. (1935). Utilité de la notion des échanges de bases pour la comparaison des eaux souterraines. France Society. Geological Comptes Rend. Somaire et Bulletin, 5 (5): 651-657.

Servicio de Hidrografía Naval (1978). Derrotero Argentino, Parte II, Costa del Atlántico desde Cabo San Antonio a Cabo Vírgenes y Punta Dungeness. Publ. H-202, 7^{ma} edición, Buenos Aires.

Sharma, P. (1997). Enviromental and engineering geophysics. University of Copenhagen. Cambridge University Press.

Smith, S. A. & Lanfredi, N.W. (1979). Transporte de arena por viento en el área de Punta Médanos. Informe técnico 79/02, División de Oceanografía Física, SIHN, 12p.

Spagnuolo J.O. (2005). Evolución geológica de la región costera-marina de Punta Alta, Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, Departamento de Geología, Universidad del Sur. 269 pp.

Spalleti L. & Mazzoni M. (1979). Características granulométricas de arena de playa frontal, playa distal y médano del litoral bonaerense. Revista de la Asociación Geológica Argentina 34 (1): 12-30.

Teruggi M. (1959). Las arenas de la costa de la Provincia de la costa de Buenos Aires entre el Cabo de San Antonio y Bahía Blanca. Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigación Tecnológica 2 (77): 1-37.



Theis, C. V. (1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. Transactions, American Geophysical Union. 16 (2): 519–524

Thorntwaite C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review. 38 (1): 55-94

Thorntwaite C. W. & Mather J. R. (1955). The water balance: Centerton, N. J., Laboratory of Climatology. Publications in Climatology 8 (1) 1-104

Tricart J.L.F. (1973). Geomorfología de la Pampa Deprimida. Buenos Aires. INTA. 202pp

U.S Enviromental Protection Agency. 1994 Nitrogen Control, Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, Pennsylvania: 1-22.

UNESCO/WHO (1978). Water Quality Surveys. A Guide for the Collection and Interpretation of Water Quality Data. Studies and Reports in Hydrology, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, 350 pp.

URL: www.dpinamar.com.ar/noticias-pinamar/historia-de-pinamar-creacion.html

Violante R.A. (1988). Geología de la "planicie costera" entre Villa Gesell y Faro Querandí, provincia de Buenos Aires. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 221pp.

Violante R. A., G. Parker J.L. Cavallotto & S. Marcolini. (1995). Caracterización ambiental del prisma arenoso costero portador del acuífero freático en los alrededores de Pinamar. IV Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses. Actas 2: 67-74. La Plata.

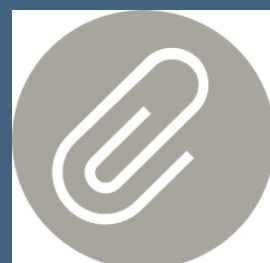
Violante R., G. Parker & J. L. Cavallotto (2001). Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre la Bahía Samborombón y la laguna Mar Chiquita durante el Holoceno. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 56 (1): 51-66.

Vrba J. (2000). The Role of Groundwater Quality Monitoring in the Strategy of Groundwater Protection. Proceedings of the XXX IAH Congress. Balkema/Rotterdam.

White I. & Falkland, T. (2010). Management of freshwater lenses on small Pacific islands. Hydrogeology Journal, 18: 227–246.

World Meteorological Organization (WMO) (1970). Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. Publ. N° 8, Geneva. Switzerland.

ANEXO





Imágenes satelitales

(Composición de bandas del satélite Landsat 7 TM)



Figura A1. Imagen "Color real". Composición de las bandas 3-2-1 (Satélite Landsat 7 TM)

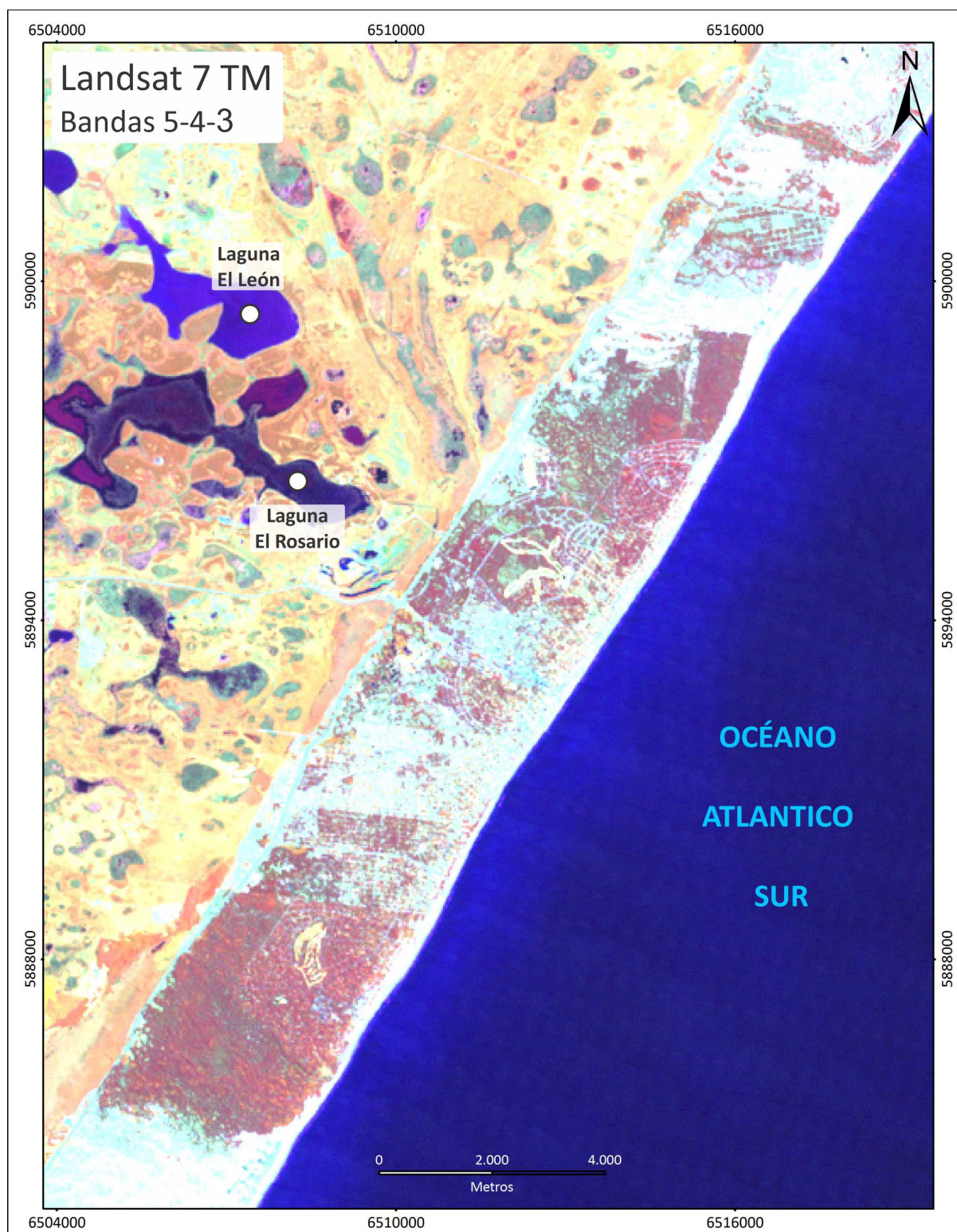


Figura A2. Imagen "Falso color". Composición de las bandas 5-4-3 (Satélite Landsat 7 TM).



Figura A3. Imagen "Falso Color". Composición de las bandas 4-3-2 (Satélite Landsat 7 TM).

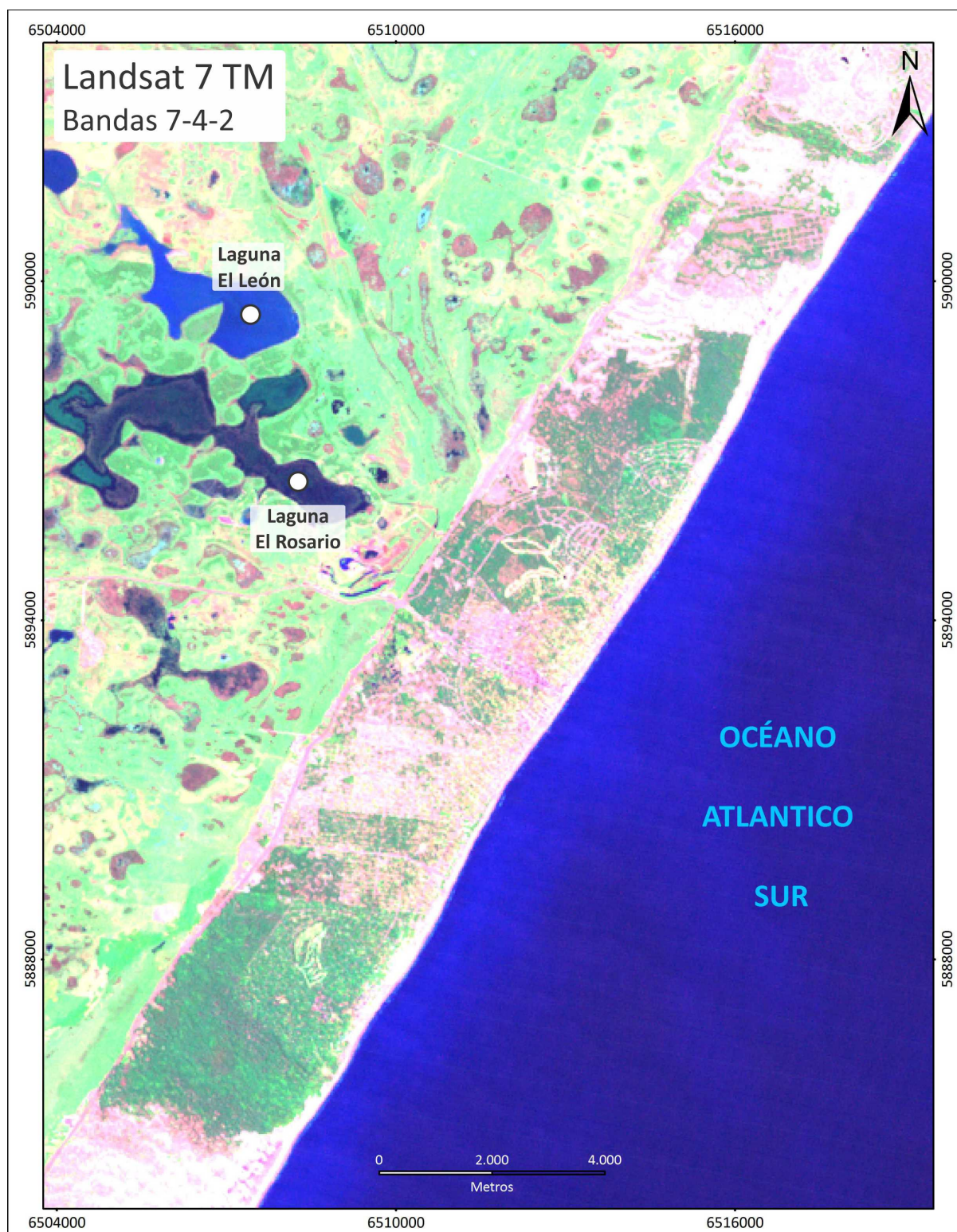


Figura A4. Imagen "Falso color". Composición de las bandas 7-4-2 (Satélite Landsat 7 TM).



RELEVAMIENTOS GEOELECTRICOS

(Imágenes de Resistividad Eléctrica)

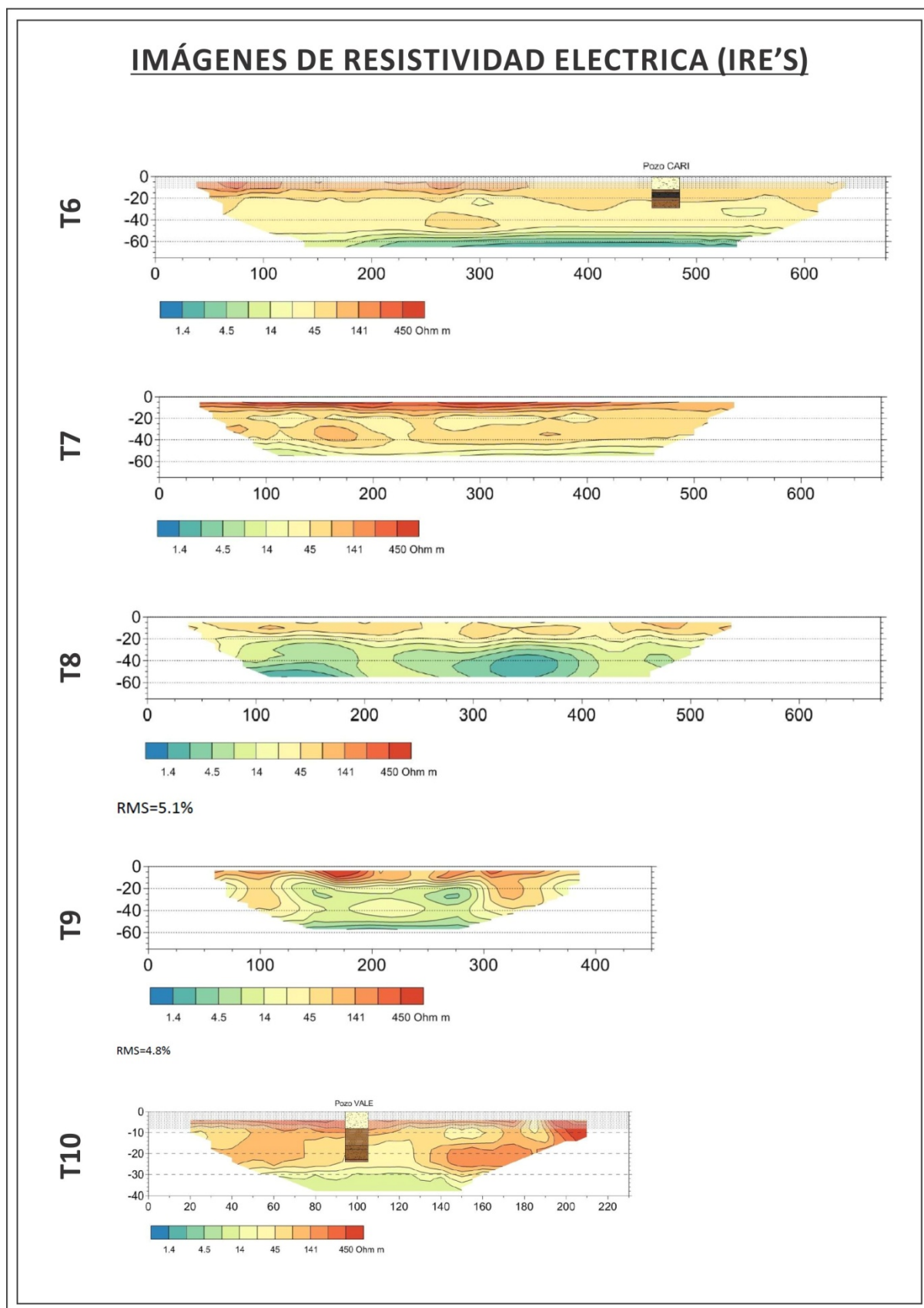


Figura A5. Imágenes de resistividad eléctrica relevadas en la localidad de Cariló.



IMÁGENES DE RESISTIVIDAD ELECTRICA (IRE'S)

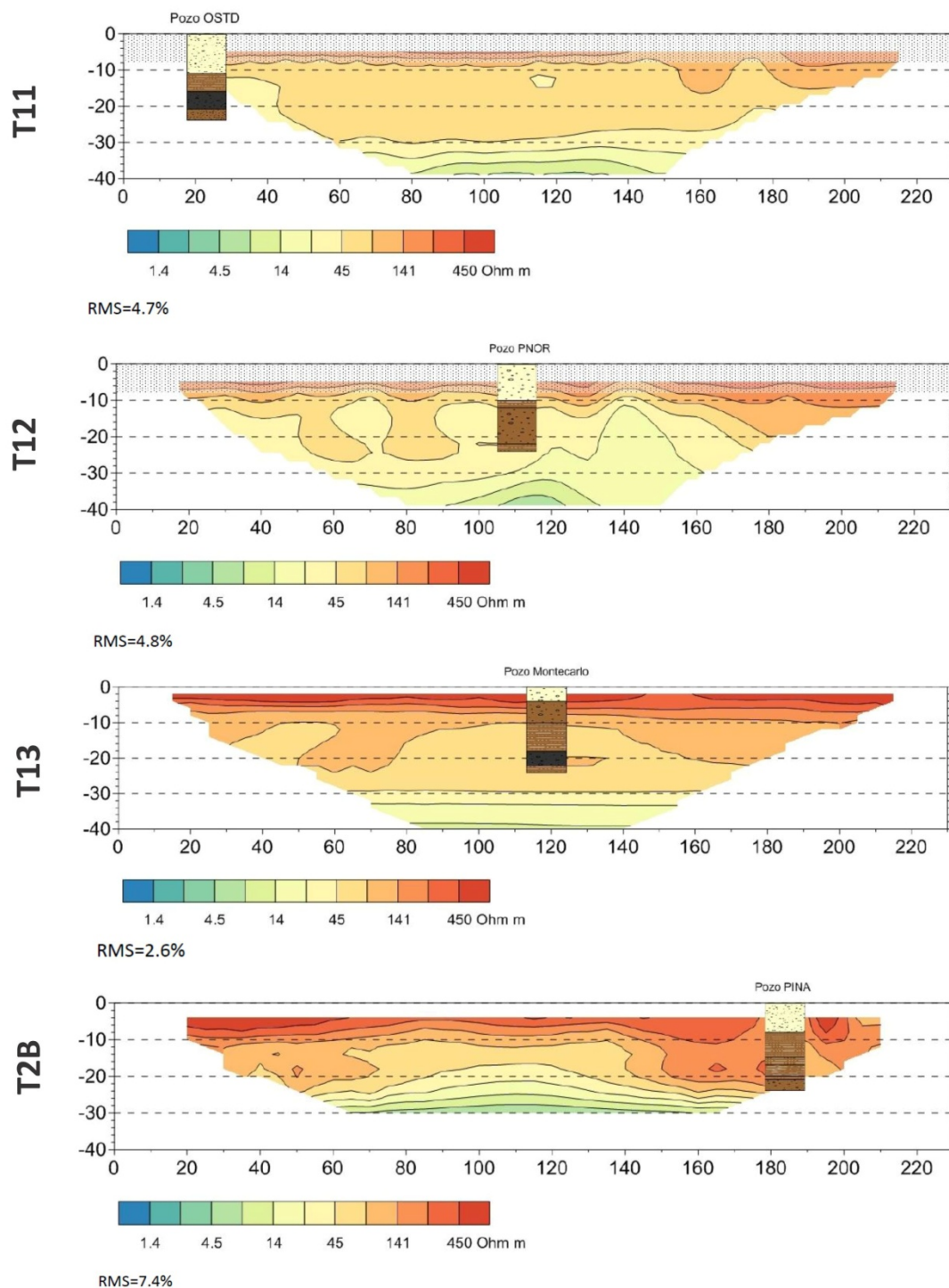
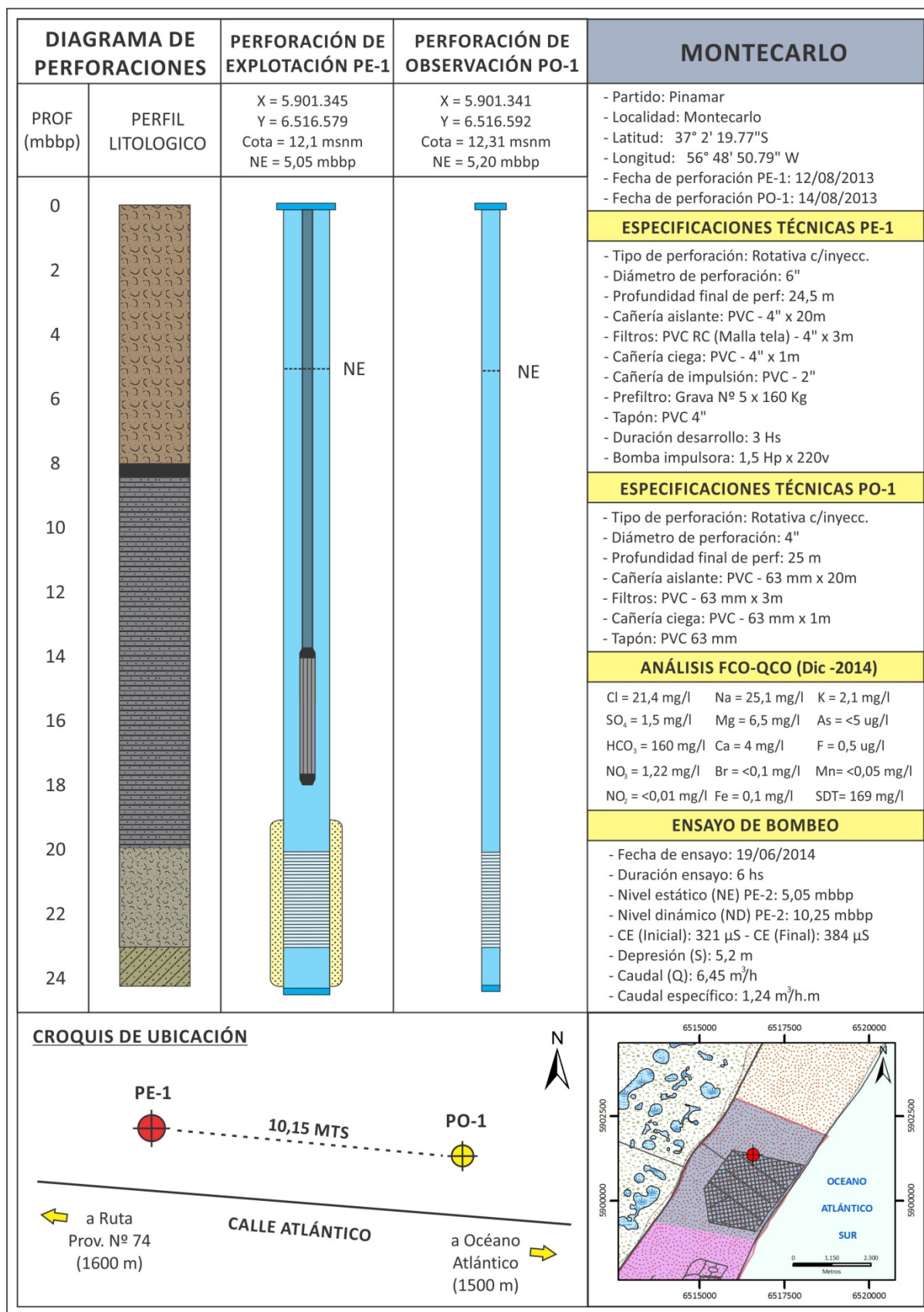


Figura A6. Imágenes de resistividad eléctrica relevadas en las localidades Valeria, Ostende, Pinamar y Montecarlo.



ENSAYOS DE BOMBEO

(Resultados de los ensayos hidráulicos,
planos de las perforaciones de bombeo y observación)

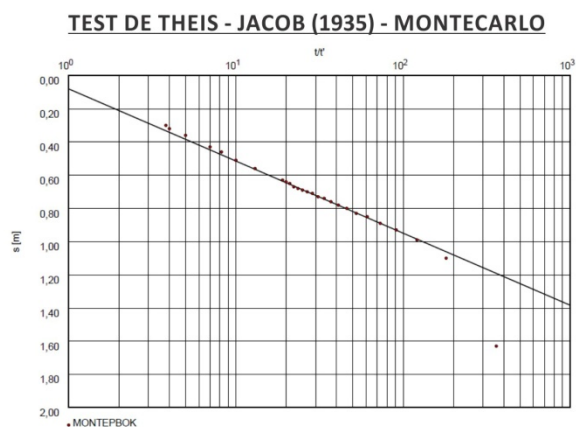
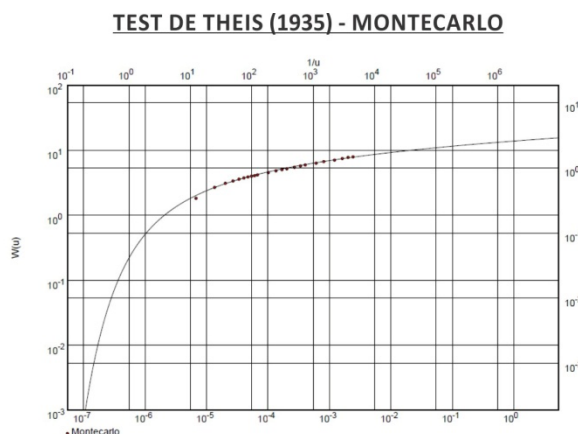


Plano I. Esquema de perforaciones empleado para el ensayo de bombeo en la localidad de Montecarlo.

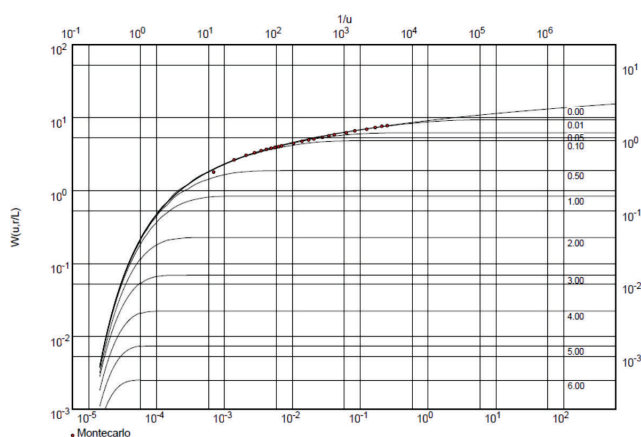


ENSAYO DE BOMBEO MONTECARLO (EB-1)

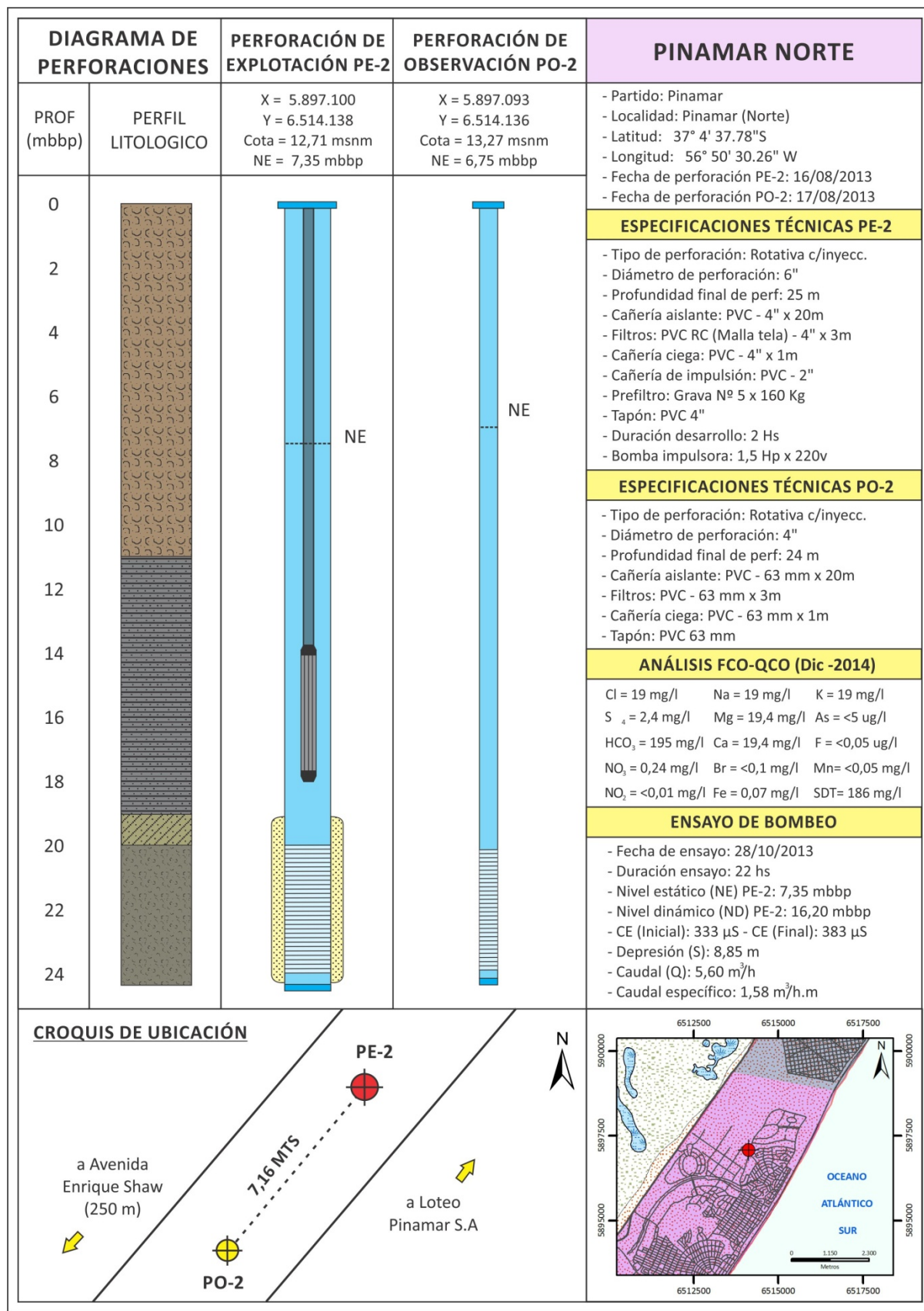
El sitio elegido para realizar el ensayo de bombeo se ubicó en la localidad de Montecarlo situada al norte del Partido de Pinamar, en este caso las perforaciones de explotación y observación se ubicaron sobre la calle Atlántico la cual conecta la Ruta Interbalnearia con el Océano Atlántico. El espesor de acuífero ensayado fue de 3 m y se encuentra constituido litológicamente por arenas medias a finas con conchilla, este nivel se encuentra aislado del primer nivel arenoso por un potente paquete de arcilla de color gris con intercalaciones arenosas de 11 m de espesor. Por debajo de la unidad ensayada se encuentra una unidad de menor permeabilidad constituida por limos arcillosos carbonáticos. Tal como se observa en el gráfico de “dS Vs. t” los niveles medidos se ajustan satisfactoriamente a la curva teórica de Theis (1935).



TEST DE HANTUSH - JACOB (1955) - MONTECARLO



Los datos de descenso medidos en el pozo de observación (PO-1) presentaron una variación total (dS) de 1,33 m luego de 6 horas de bombeo con un caudal de 6,45 m³/h. Los valores de T y K obtenidos fueron 65,7 m²/d y de 21,9 m/d respectivamente, mientras que almacenamiento calculado fue de 1,41 x 10⁻⁴. De acuerdo con este último valor el comportamiento del acuífero en estudio sería del tipo semiconfinado. Al realizar el test Hantush -Jacob, se obtuvieron valores de Permeabilidad vertical (K') y Transmisividad vertical (T') para el acuitardo superpuesto de 7,55 x 10⁻⁴ m/d y de 6,3 x 10⁻⁵ d⁻¹. Esta permeabilidad lo ubica litológicamente de acuerdo a Custodio y Llamas (1983) dentro una arcilla arenosa, situación que se corresponde con los datos relevados durante las tareas de control geológico de perforación. Así mismo se obtuvo un valor de resistencia hidráulica de 237 días. Por último se analizaron los datos de recuperación en el pozo de bombeo (PE-1). En este caso los valores de T y K obtenidos fueron de 65,2 m²/d y 21,7 m/d respectivamente siendo estos acordes con los parámetros calculados a partir del pozo de observación (PO-1).



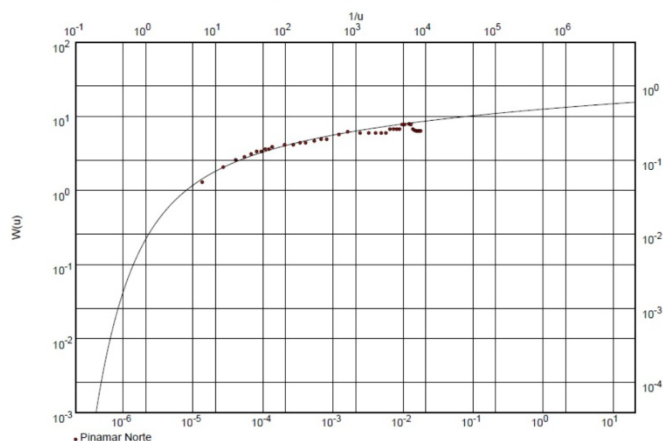
Plano II. Esquema de perforaciones empleado para el ensayo de bombeo en la localidad de Pinamar (Norte).



ENSAYO DE BOMBEO PINAMAR NORTE (EB-2)

El área donde se llevo a cabo el ensayo de bombeo se encuentra a 120 m en dirección NW de la intersección de la Avenida E. Shaw y la calle Selene. La duración del ensayo fue de 24 horas en tanto que el caudal de bombeo medido fue de 5,59 m³/h. El espesor ensayado es de 4 metros y se compone de arenas muy finas ubicadas por debajo de una sucesión de arcillas arenosas grisáceas y arcillas carbonáticas arenosas que en forma conjunta poseen un espesor de 9 m.

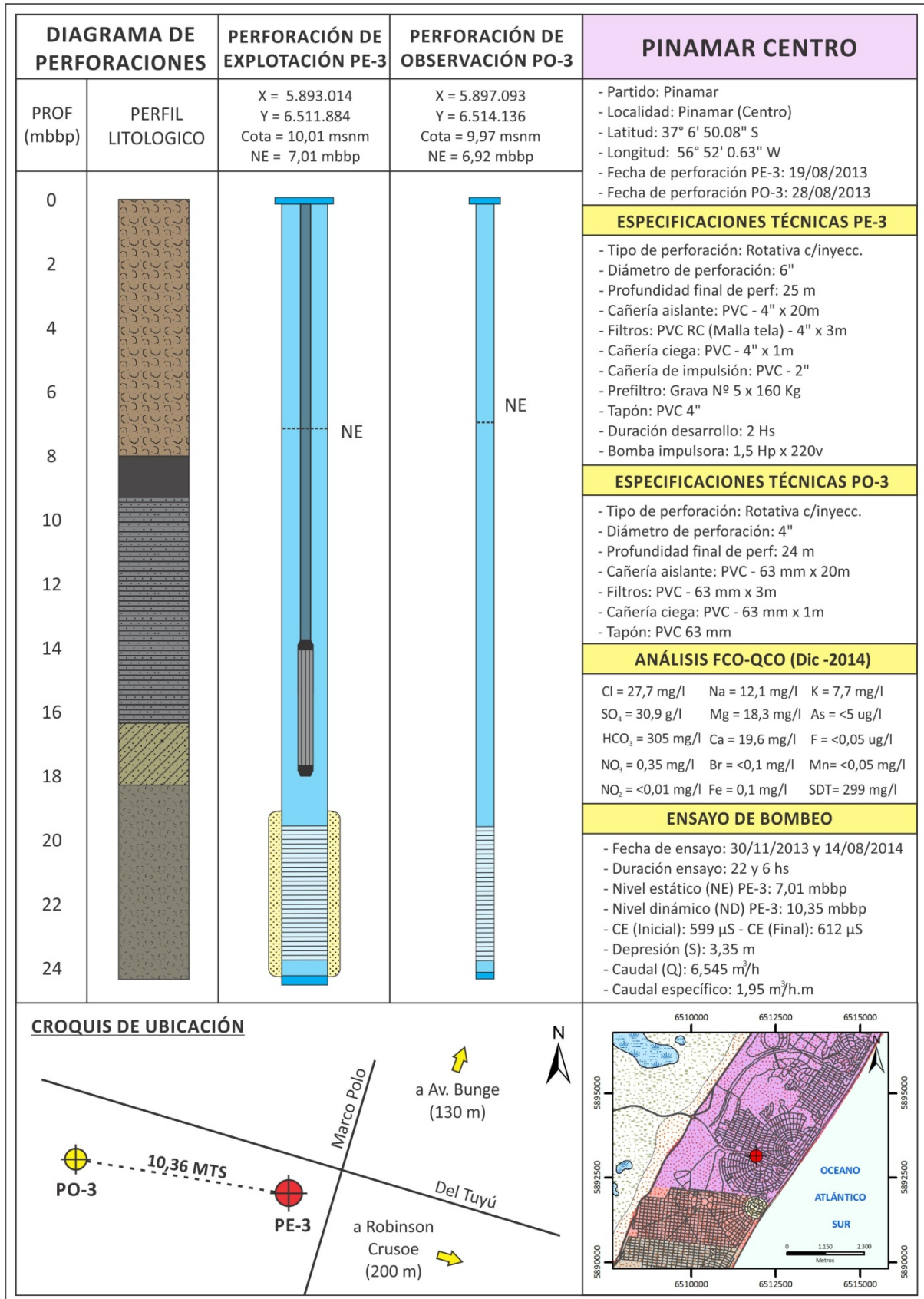
TEST DE THEIS (1935) - PINAMAR NORTE



Los valores de Transmisividad y Permeabilidad determinados mediante la solución de Theis en este caso fueron de 276 m²/d y 69 m/d respectivamente, en tanto que el almacenamiento alcanzó un valor de $2,32 \times 10^{-3}$.

Estos parámetros no son correlativos con la descripción mesoscópica cutting durante la perforación, por otra parte se hace referencia a una serie de inconvenientes suscitados durante la instalación de las cañerías de aislación del pozo de observación (PO-2) y que podrían estar generando una distorsión de los valores de descensos medidos durante el ensayo.

Por los motivos anteriormente citados el autor de esta tesis ha decidido no incluir los datos producto de este ensayo, ni tampoco incluirlo en las interpretaciones regionales.

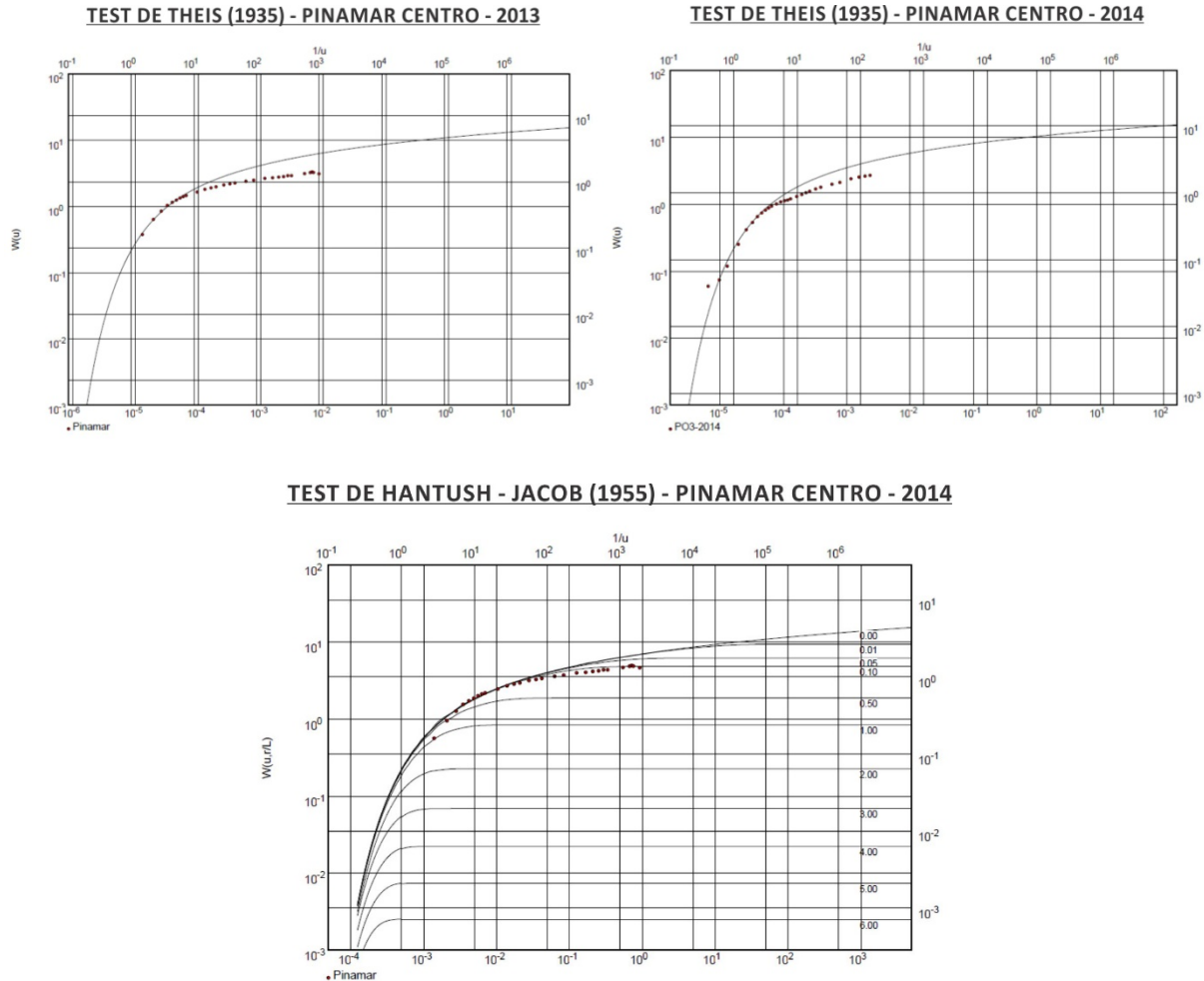


Plano III. Esquema de perforaciones empleado para el ensayo de bombeo en la localidad de Pinamar.



ENSAYO DE BOMBEO PINAMAR CENTRO (EB-3A y EB-3B)

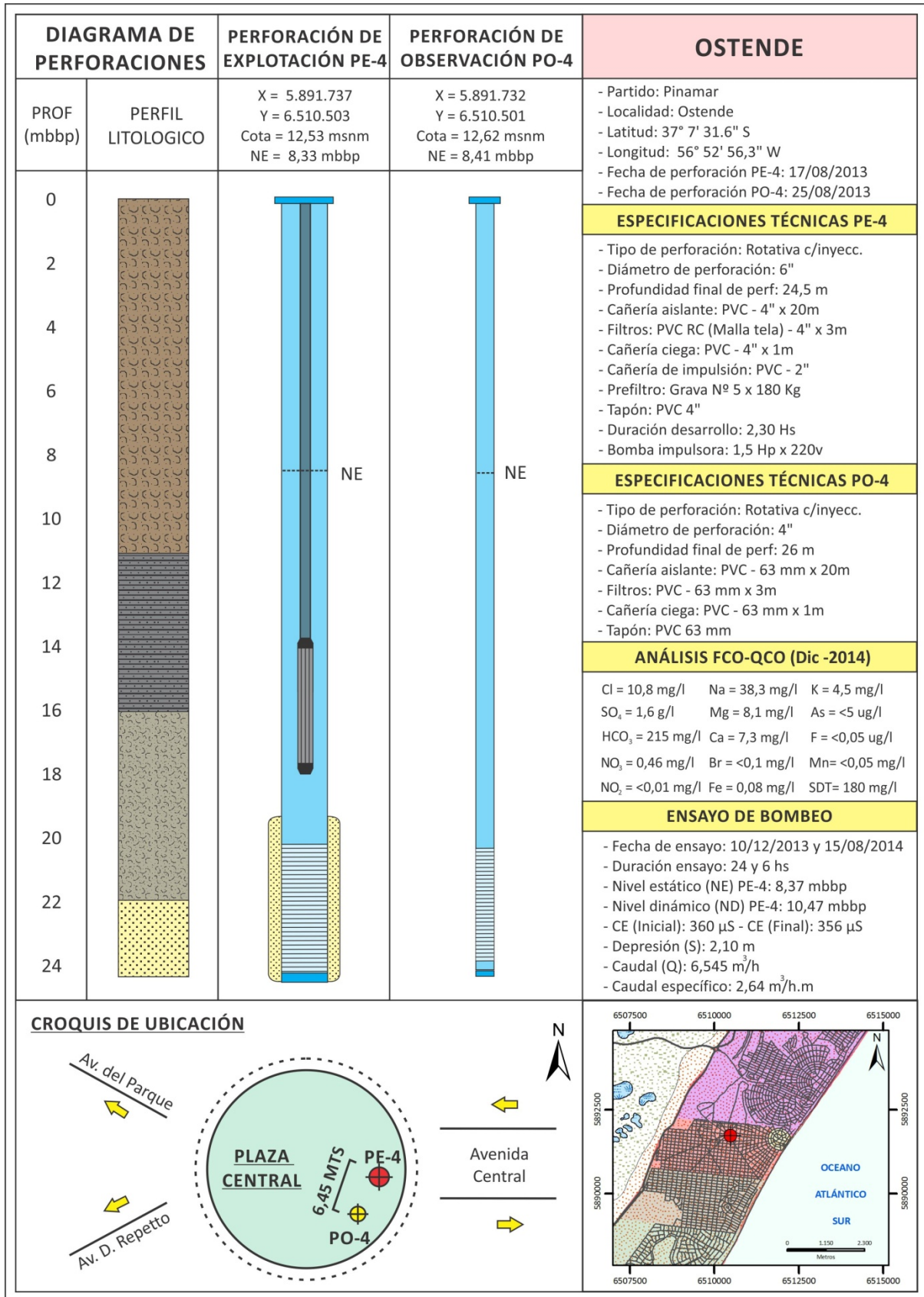
En el caso del sitio "Pinamar Centro" se realizaron dos ensayos de bombeo (Tabla A1). El espesor ensayado posee una potencia de 4 m y se compone de arenas muy finas, no obstante y de acuerdo al registro de perforación, la presencia de la fracción arcillosa pudo observarse en mayor o menor medida durante todo el perfil no pudiendo diferenciar una unidad netamente arenosa. El paquete mencionado se encuentra limitado en su parte superior por un limo arcilloso carbonático y una arcilla grisácea con intercalaciones arenosa las cuales conforman un espesor semipermeable de 10 metros de potencia.



Sitio		Q (m ³ /h)	Distancia PB - PO (m)	Esp. Ensayado (m)	Duración (hs)	Fecha
Pinamar (Centro)	EB-3A	6,25	10,36	4	22	30/11/2013
	EB-3B	6,54			6	14/08/2014

Tabla A1. Especificaciones de los ensayos de bombeo realizados en la localidad de Pinamar (Centro).

Los resultados obtenidos mediante el test de Theis (1935) difieren ligeramente entre ambos ensayos con valores de T y K de 28,1 m²/d y 7,04 m/d para el primer ensayo y de 17,1 m²/d y 4,28 m/d para el segundo. Como ha sido mencionado anteriormente, la presencia de arcilla en el espesor de arena ensayado podría ser el factor responsable de la menor permeabilidad estimada, en tal sentido Custodio y Llamas (1983) afirman que aunque el contenido de arcilla sea pequeño esta condición puede afectar sensiblemente la permeabilidad. El comportamiento semiconfinado fue inferido a partir de los valores almacenamiento obtenidos ($9,67 \times 10^{-4}$ y $1,22 \times 10^{-3}$). Se sometieron los datos al test de Hantush-Jacob obteniéndose un T' Y K' de 0,031 m/d $3,92 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$ para el acuitardo.



Plano IV. Esquema de perforaciones empleado para el ensayo de bombeo en la localidad de Ostende.



ENSAYO DE BOMBEO OSTENDE (EB-4)

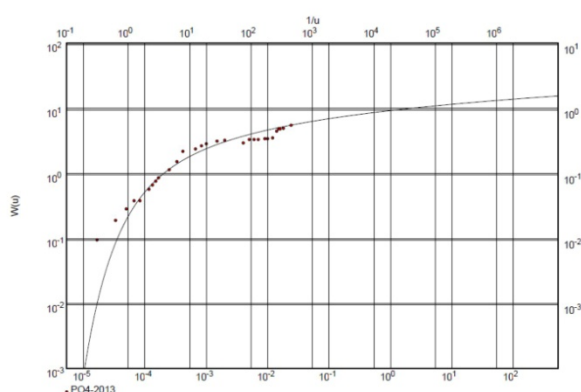
La caracterización del acuífero en localidad de Ostende se llevo a cabo mediante la interpretación de dos ensayos de bombeo de 24 y 6 horas (Tabla A2).

Sitio	Nombre	Q (m ³ /h)	Distancia PB - PO (m)	Esp. Ensayado (m)	Duración (hs)	Fecha
Plaza Central (Ostende)	EB-4A	2,8	6,45	4	24	10/12/2013
	EB-4B	6,54			6	15/08/2014

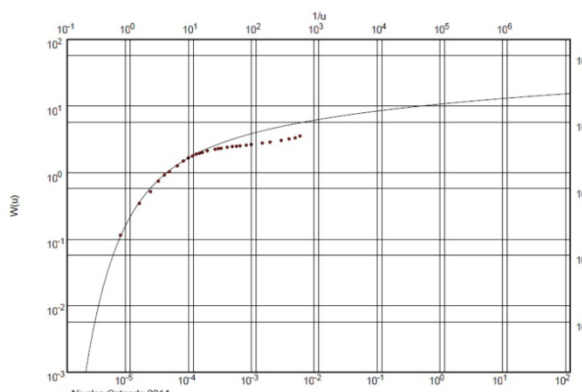
Tabla A2. Especificaciones técnicas de los ensayos de bombeo realizados en la localidad de Ostende.

Los valores obtenidos de T y K para el primer caso fueron de 47,4 m²/d y 11,8 m/d respectivamente. El valor de S obtenido fue de $9,70 \times 10^{-3}$, dicho valor se ubica en el límite superior de aquellos reservorios con comportamiento del tipo semiconfinado.

TEST DE THEIS (1935) - OSTENDE - 2013



TEST DE THEIS (1935) - OSTENDE - 2014



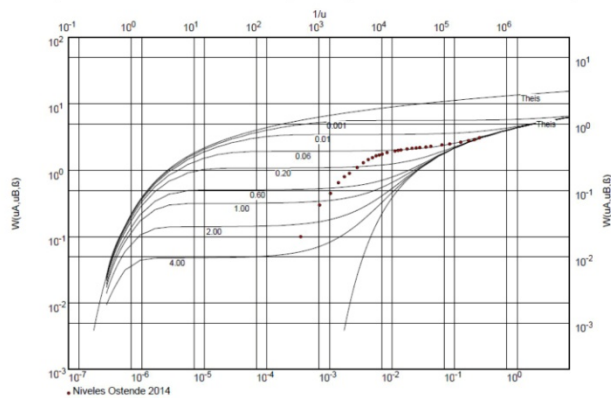
Los resultados de T y K para el segundo ensayo fueron ligeramente mayores con valores de 71,9 m²/d y 17,9 m/d, mientras que el almacenamiento fue de $3,43 \times 10^{-3}$.

Cuando se realiza un bombeo sobre un acuífero libre o semilibre el agua es extraída mediante dos mecanismos, el primero vinculado a aquella reserva contenida por un almacenamiento elástico, mientras que la segunda se produce por el drenaje gravitacional desde los sedimentos que conforman el medio poroso. Al analizar la curva de datos se observa una ligera inflexión luego de los 16 minutos de bombeo, si bien el lapso de tiempo no es suficiente para verificar una recarga diferida o retardada, se infiere un aporte adicional desde un nivel superior hacia el acuífero ensayado.

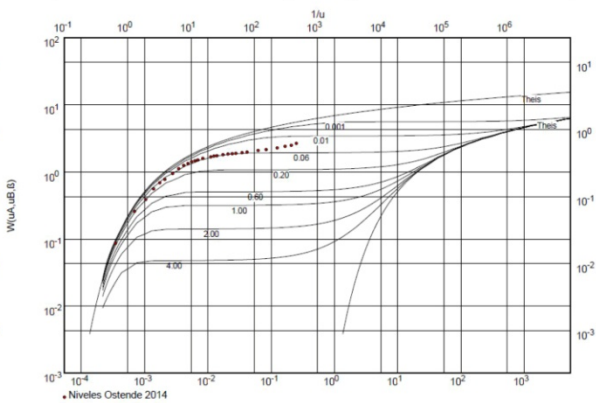
Por los motivos anteriormente mencionados se sometieron los datos al test de Neuman (1975) para acuíferos con respuesta retardada. Los valores de T y K calculados mediante esta técnica fueron de 54,9 m²/d y de 13,7 m/d, siendo acordes con los valores obtenidos anteriormente mediante la solución de Theis. Por su parte los valores obtenidos para el almacenamiento fueron de $2,68 \times 10^{-3}$ (Almacenamiento elástico) y de 0,06 (Almacenamiento específico). Por último se obtuvo un valor de 0,316 m/d para la permeabilidad vertical (K') y de $6,32 \times 10^{-2} \text{ d}^{-1}$ para la transmisividad vertical (T'). En este sentido, Auge (2003 y 2004) asigna similares valores de T' a acuíferos con comportamiento del tipo semilibre. Esta última consideración se reforzada en el hecho de que si bien se pudo reconocer un nivel de menor permeabilidad durante las tareas de control geológico, la capacidad sellante de esta se ve reducida en primer lugar por el escaso espesor de las arcillas-arenosas respecto al resto de las perforaciones ensayadas y en segundo lugar al carácter predominantemente arenoso observado en la descripción de las muestras de cutting.

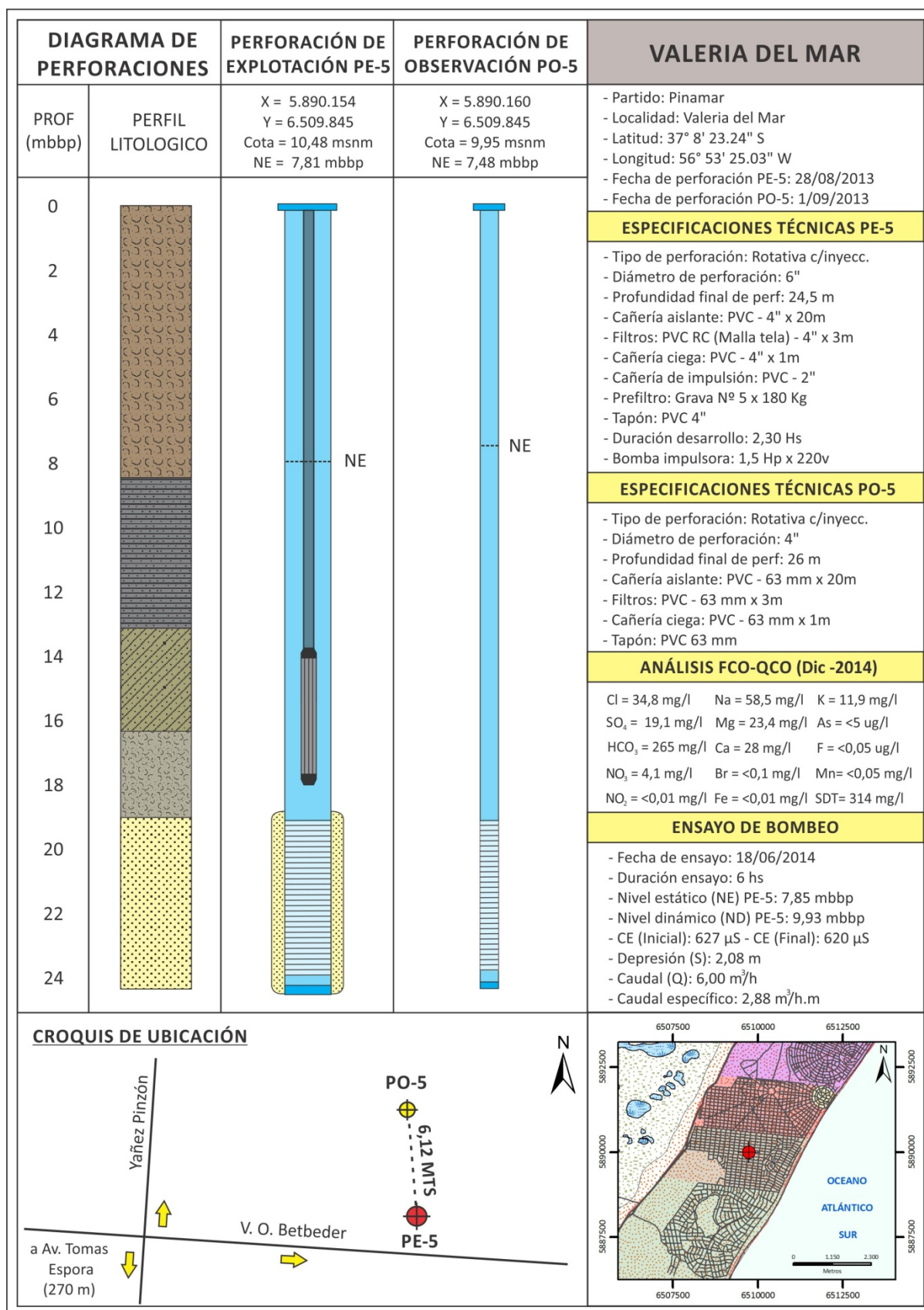


TEST DE NEUMAN (1975) - OSTENDE - 2014



TEST DE NEUMAN (1975) - OSTENDE - 2014





Plano V. Esquema de perforaciones empleado para el ensayo de bombeo en la localidad de Valeria del Mar

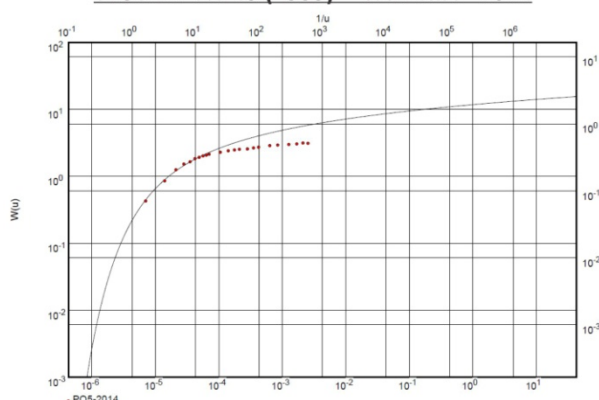


VALERIA DEL MAR (EB-5)

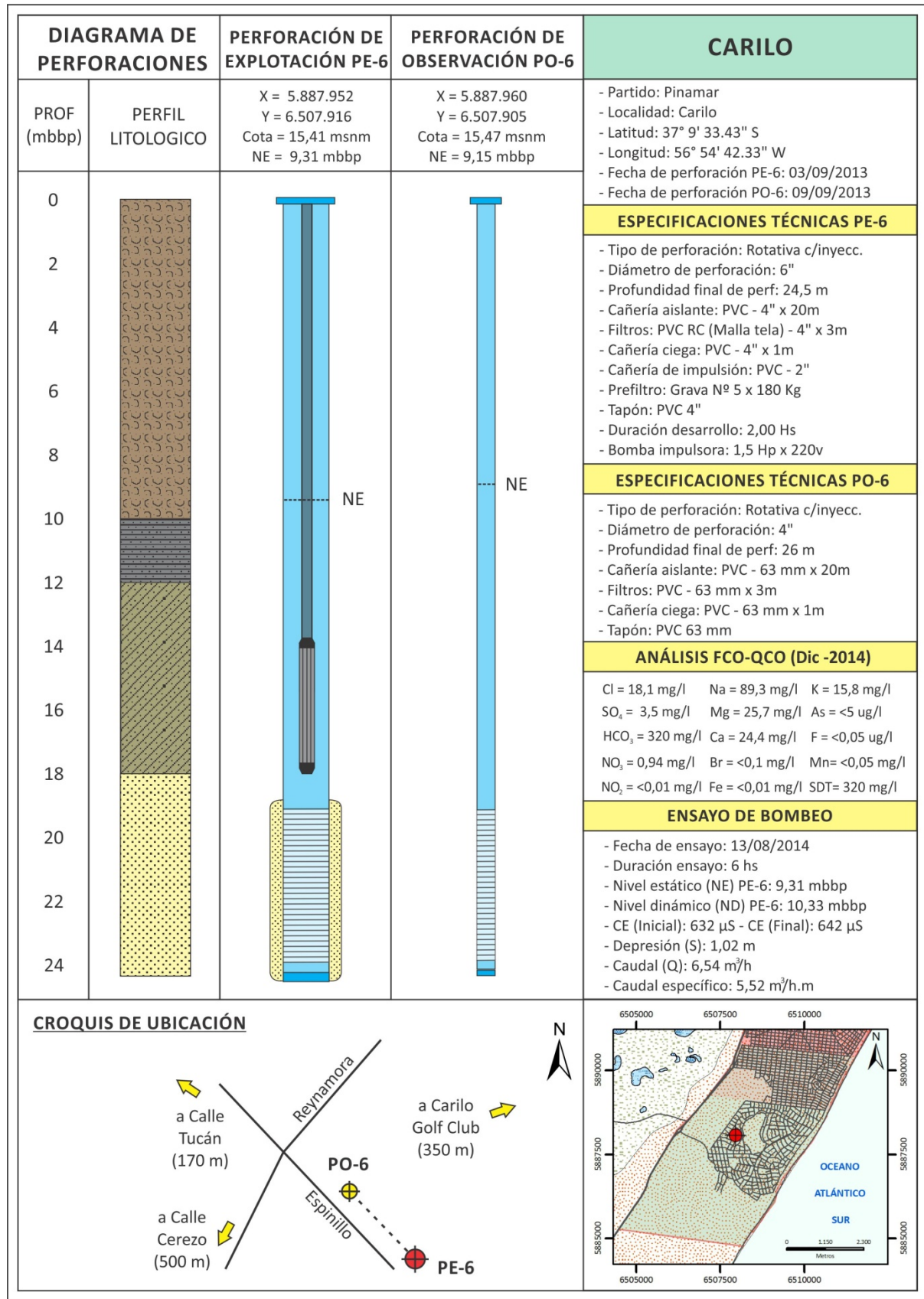
El ensayo de bombeo realizado se ubicó en la intersección de las calles Yañez Pinzón y V. O. Betbeder en la localidad de Valeria del Mar y se llevo a cabo el día 18/06/2014. La duración del ensayo fue de 6 horas, mientras que la recuperación total de los niveles se produjo 3 horas luego del cese del bombeo. El equipo de bombeo empleado permitió obtener un caudal de descarga (Q) de 6 m³/d para un espesor de ensayo de 4 m. La evacuación del agua extraída se realizó a unos 120 m de la perforación de bombeo (PE-5) mientras que la fuente de energía empleada para el funcionamiento del equipo sumergible de 1,5 Hp fue un grupo electrógeno.

Los valores obtenidos mediante el método de Theis fueron de 69,8 m²/d para la transmisividad y de 17,4 m/d para la permeabilidad, mientras que el almacenamiento estimado fue de $1,20 \times 10^{-3}$ coincidiendo también con un valor típico de un comportamiento del tipo semiconfinado.

TEST DE THEIS (1935) - VALERIA - 2014



Al analizar con detalle el gráfico de descensos Vs. tiempo se observa que los primeros 10 valores medidos se ajustan satisfactoriamente a los valores teóricos calculados por Theis, luego de este instante se produce una ligera declinación de la curva por debajo del comportamiento ideal hasta convertirse casi en horizontal. Esta situación permite inferir la existencia de una recarga adicional al acuífero lo cual se ve reflejado en las magnitudes de los descensos medidos durante el ensayo. No obstante y debido a la falta de datos de un ensayo de bombeo de mayor duración no se pudieron establecer mayores conclusiones acerca de este comportamiento.



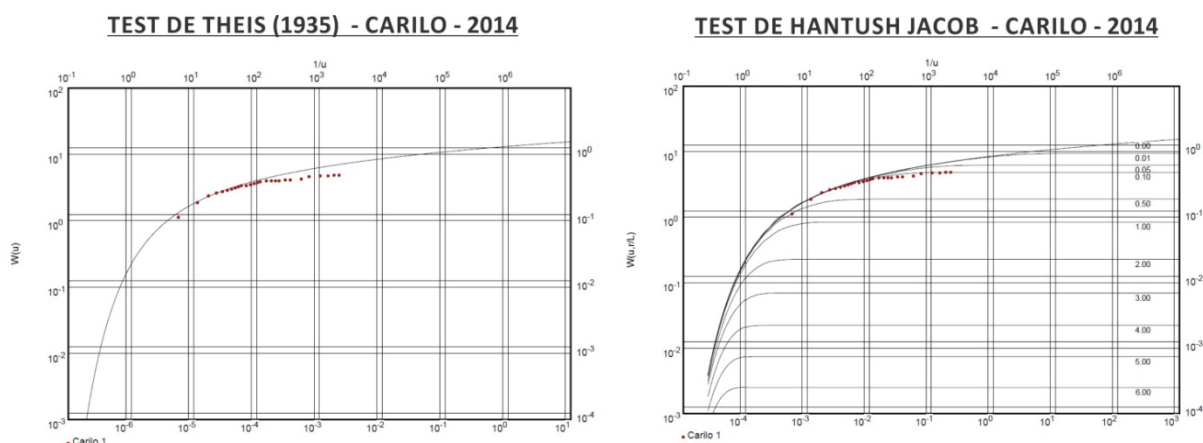
Plano VI. Esquema de perforaciones empleado para el ensayo de bombeo en la localidad de Carilo.



CARILO (EB-6)

El último de los ensayos de bombeo se realizó el día 13/08/2014 en la intersección de las calles Reynamora y Espinillo de la localidad de Cariló. En esta ocasión el ensayo de bombeo tuvo una duración de 6 horas mientras que la recuperación de los niveles demoró algo más de 60 minutos. El caudal de bombeo (Q) empleado fue de 6,54 m³/h en tanto que el punto de descarga se ubicó en una depresión topográfica a unos 130 metros de la perforación de explotación.

De forma similar al comportamiento de los niveles observados durante los ensayos EB-4 y EB-5, aunque de un modo menos visible, las magnitudes de los descensos medidas en el EB-6 son menores que las esperadas generando una horizontalización de la curva de niveles medidos, permitiendo inferir un aporte adicional al espesor ensayado.

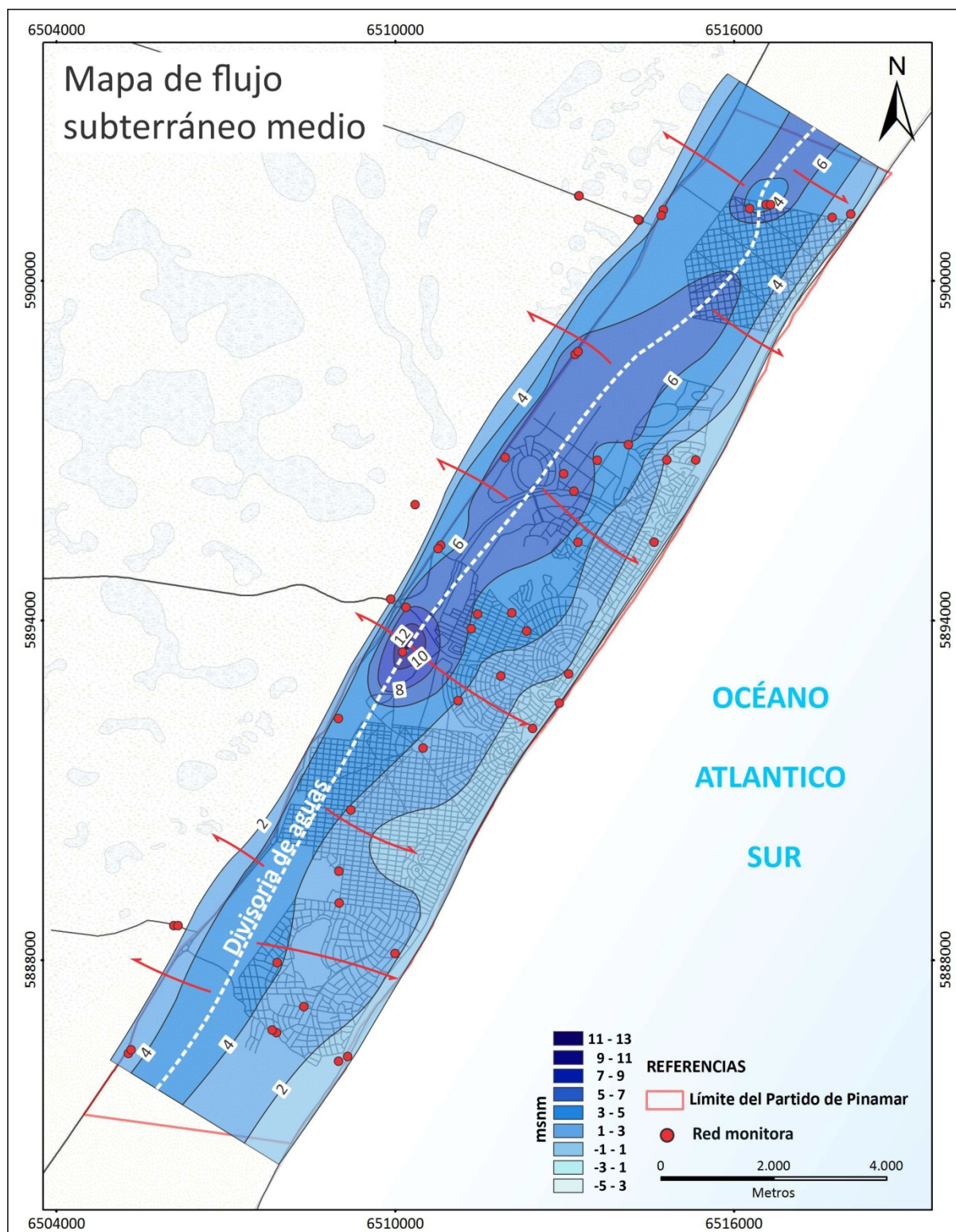


En referencia a los parámetros hidráulicos T, K y S, los valores obtenidos fueron de 153 m²/d, 38,3 m/d, $7,47 \times 10^{-4}$ respectivamente. Los valores de K obtenidos son concordantes con las litologías descriptas durante el análisis mesoscópico, así mismo el valor de almacenamiento obtenido es coherente de acuerdo al espesor (8 m) y la predominancia de la fracción arcillosa del nivel sellante ubicado por encima. De acuerdo con este razonamiento se sometieron los datos al test de Hantush-Jacob obteniendo valores de $1,52 \times 10^{-3}$ para la K' , y de $1,9 \times 10^{-4}$ para T' , permitiendo asignar un comportamiento del tipo semiconfinado para el espesor ensayado..

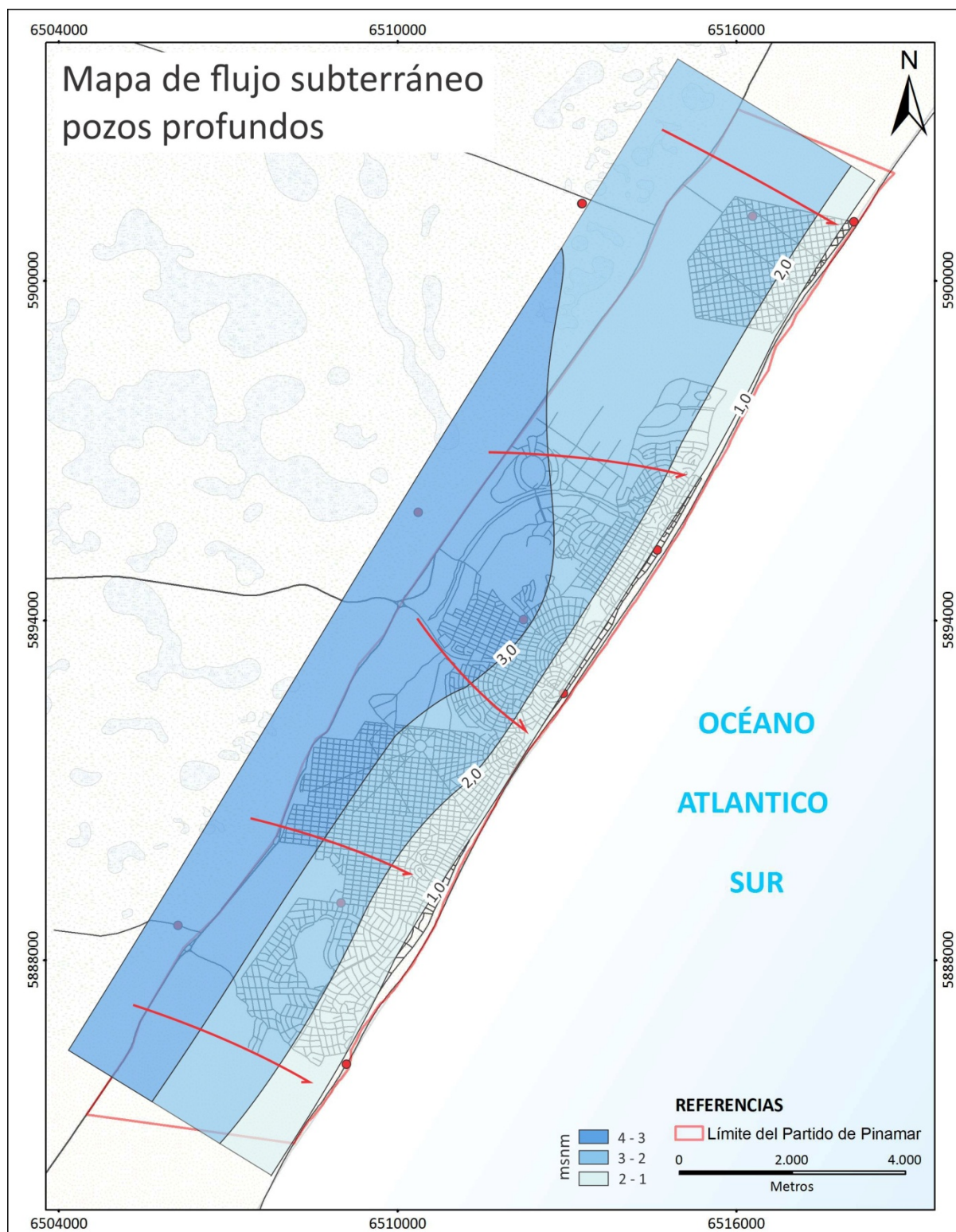


HIDRODINÁMICA

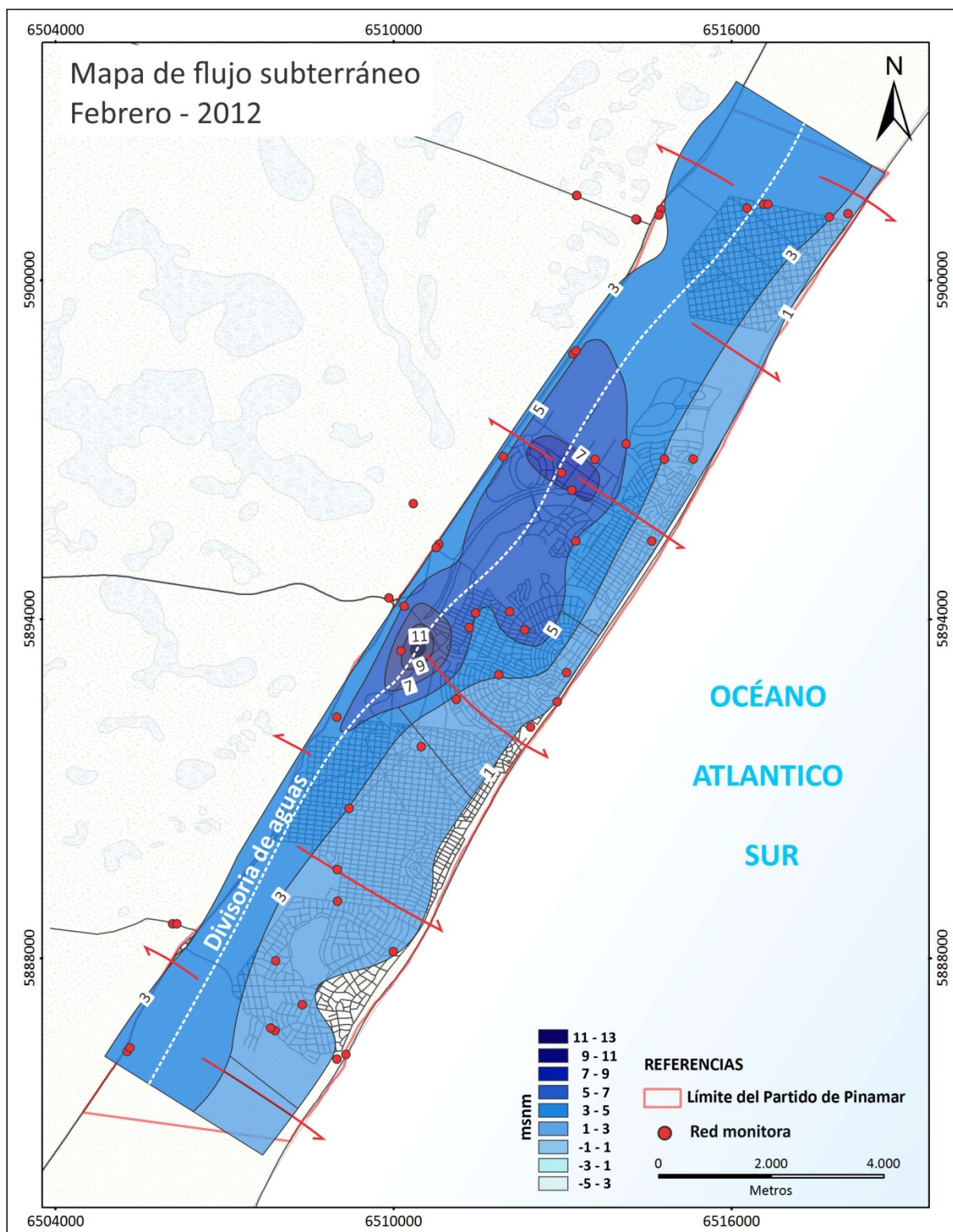
(Mapas de flujo subterráneo e isovariación)



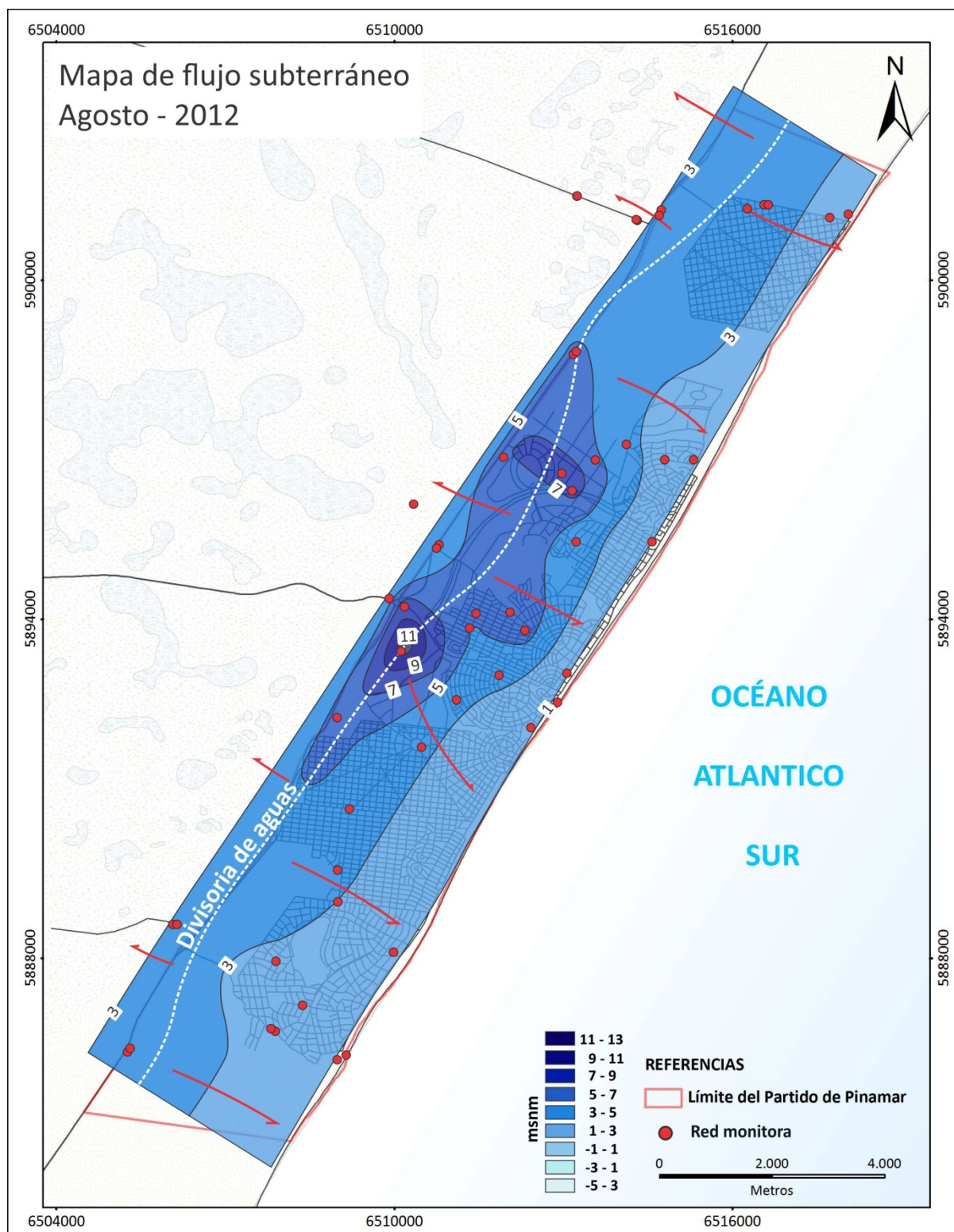
Mapa N° 1. Mapa de flujo subterráneo promedio.



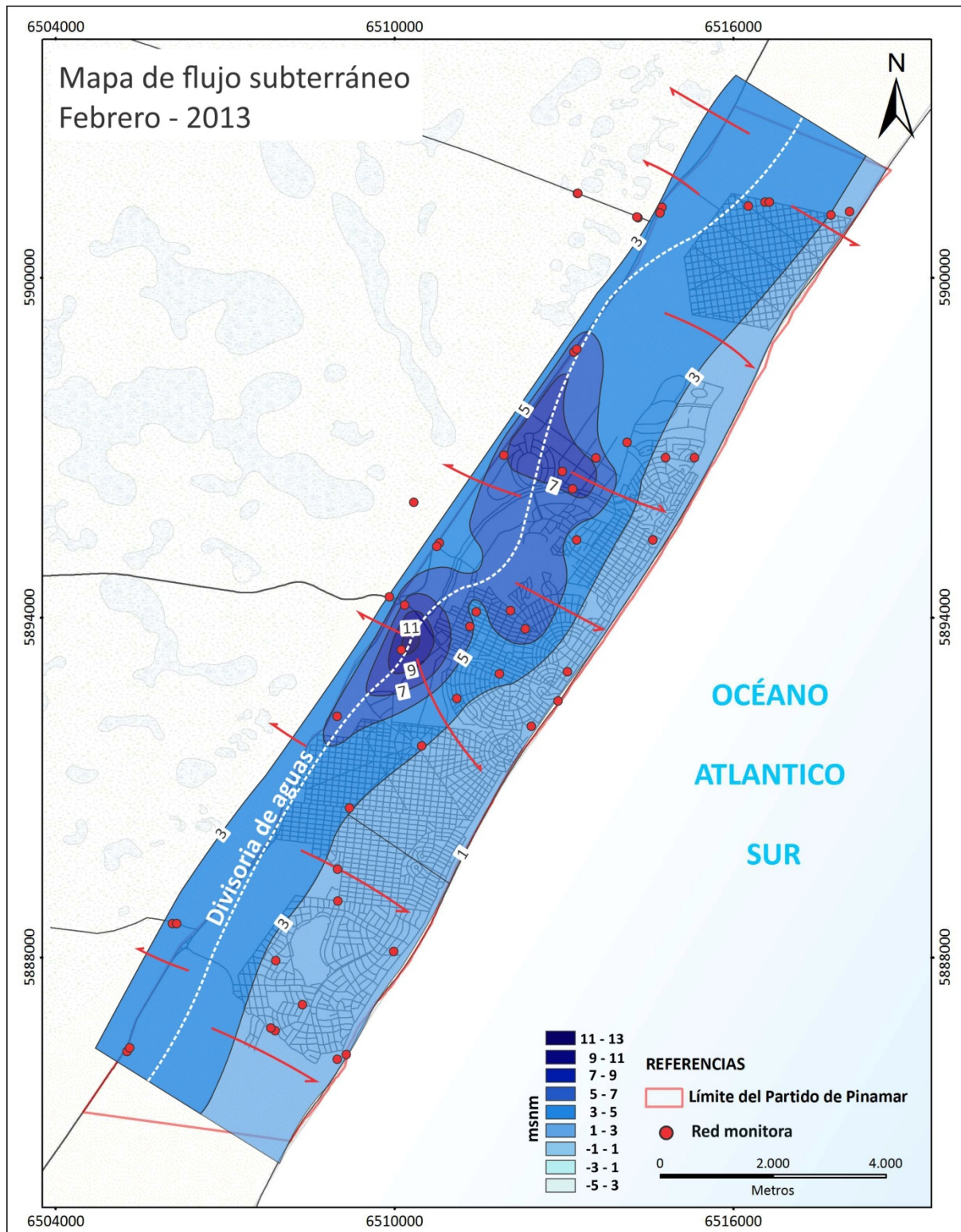
Mapa Nº 2. Mapa de flujo subterráneo para los pozos profundos.



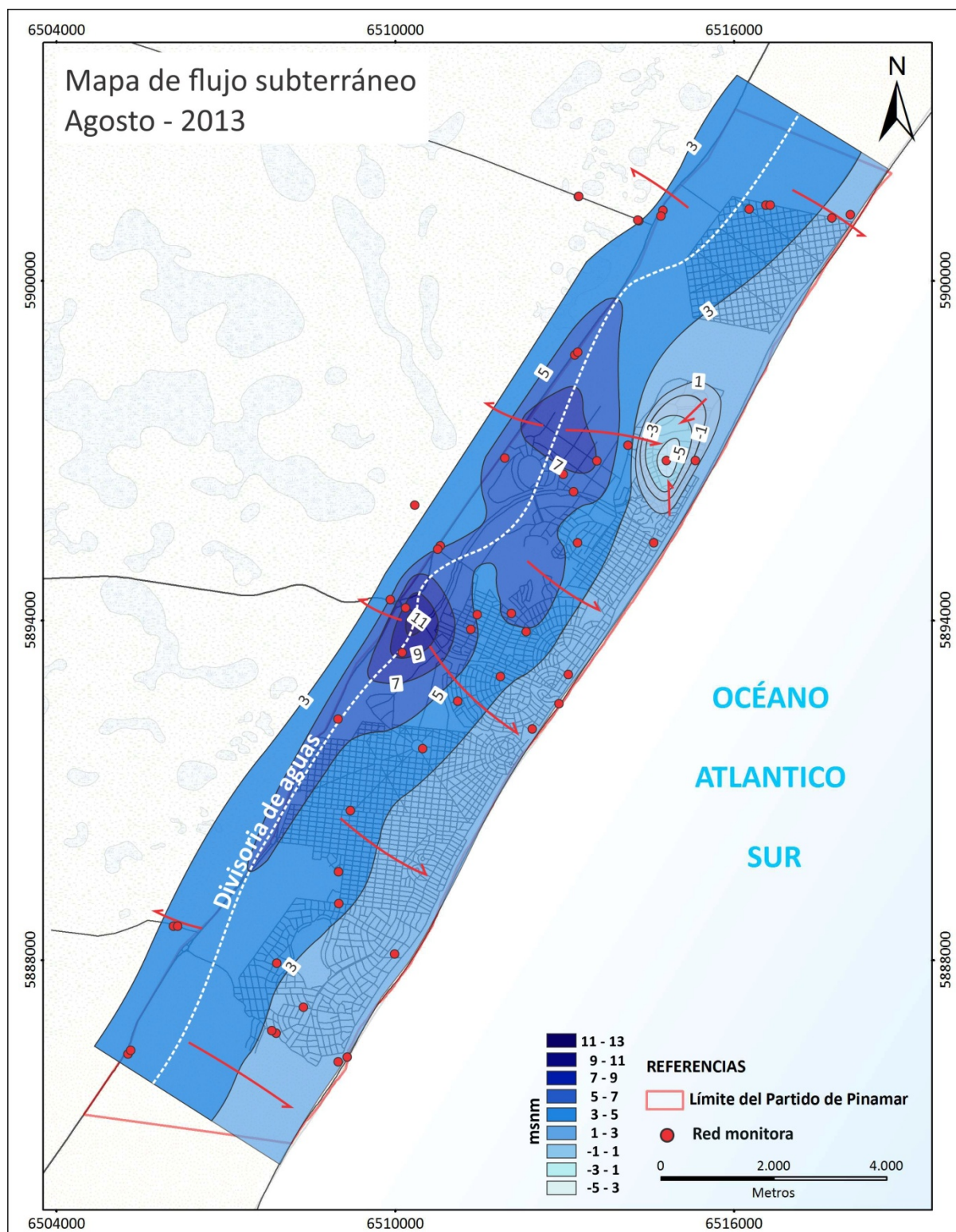
Mapa N° 3. Mapa de flujo subterráneo para el mes de febrero de 2012.



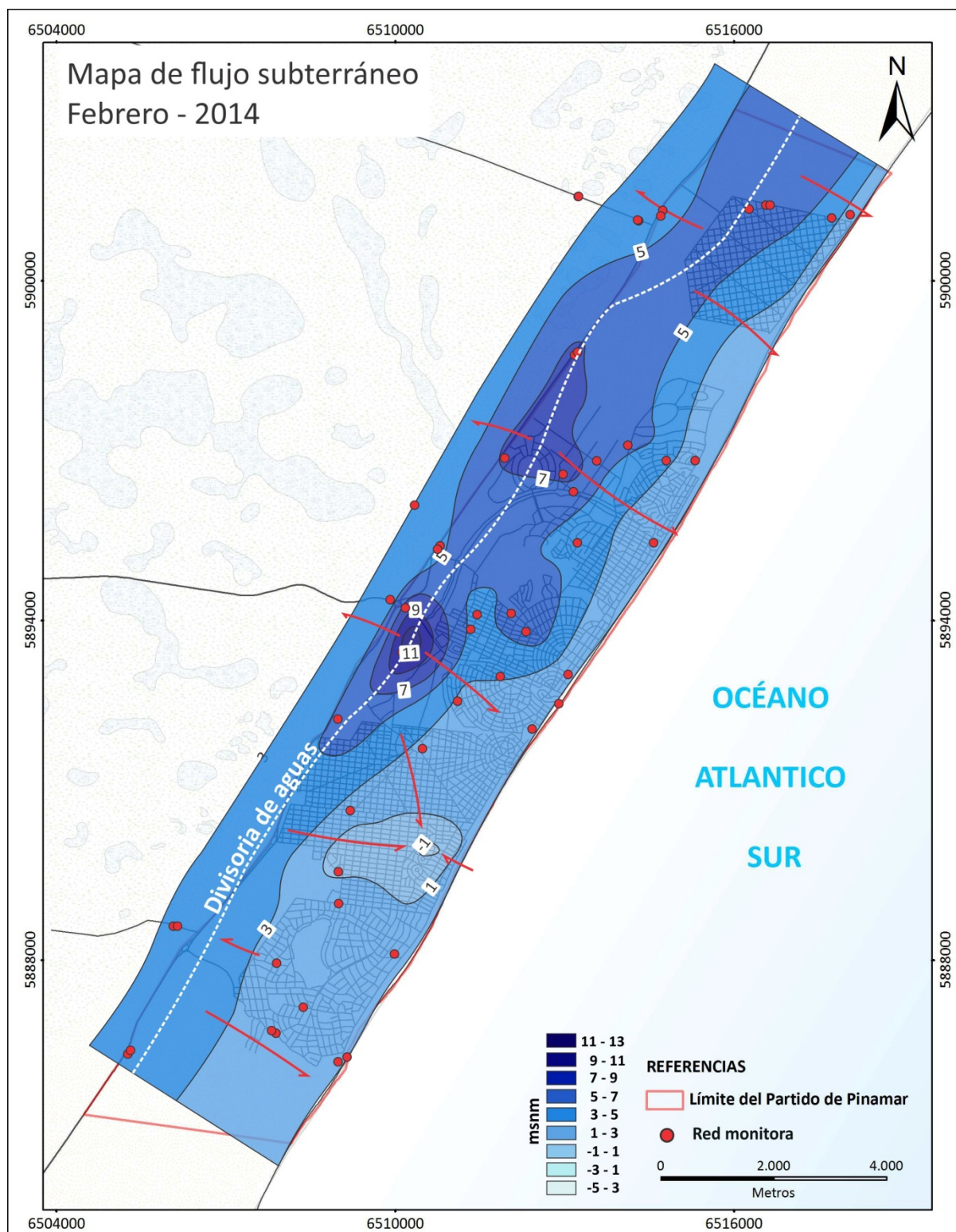
Mapa N° 4. Mapa de flujo subterráneo para el mes de agosto de 2012.



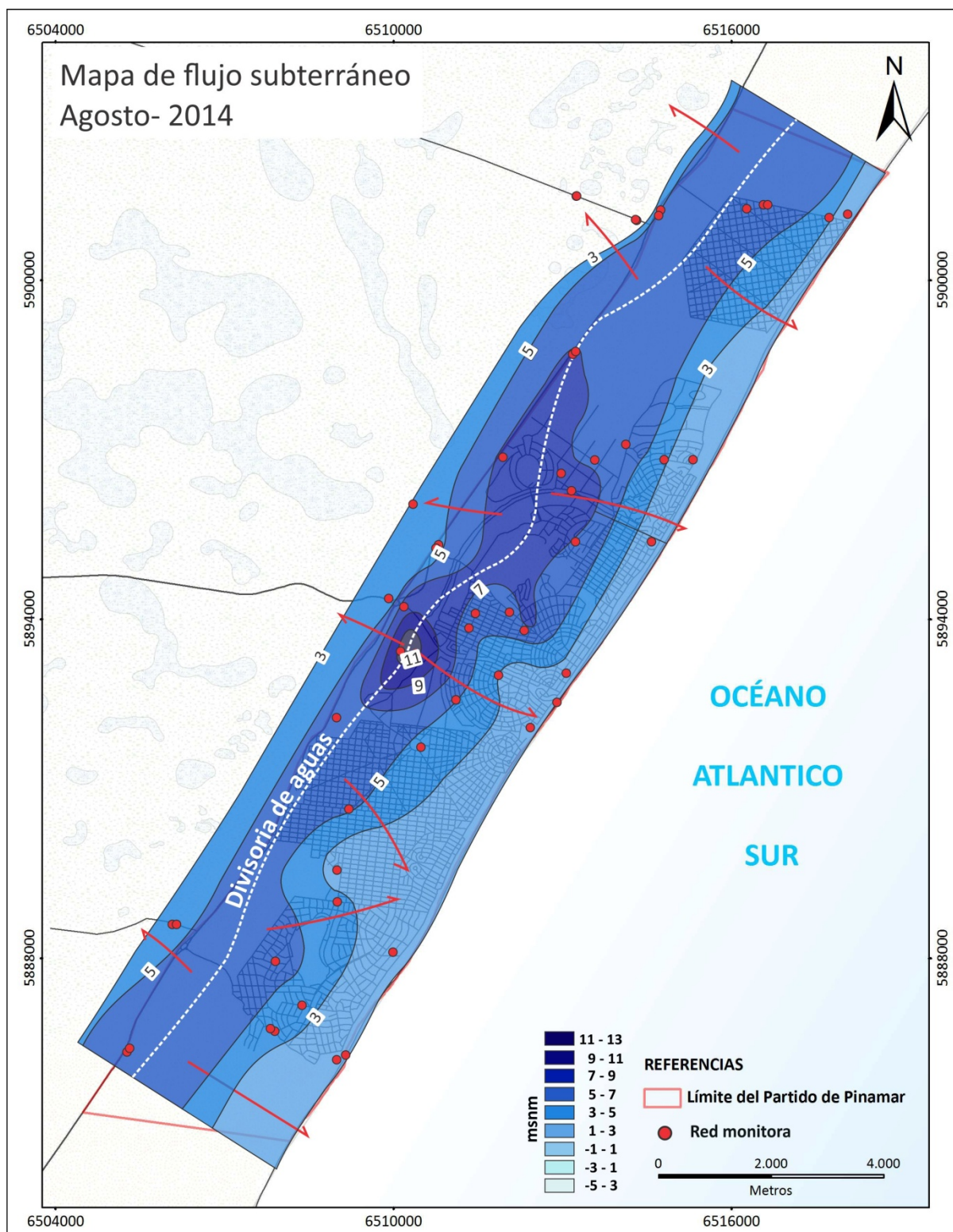
Mapa N° 5. Mapa de flujo subterráneo para el mes de febrero de 2013.



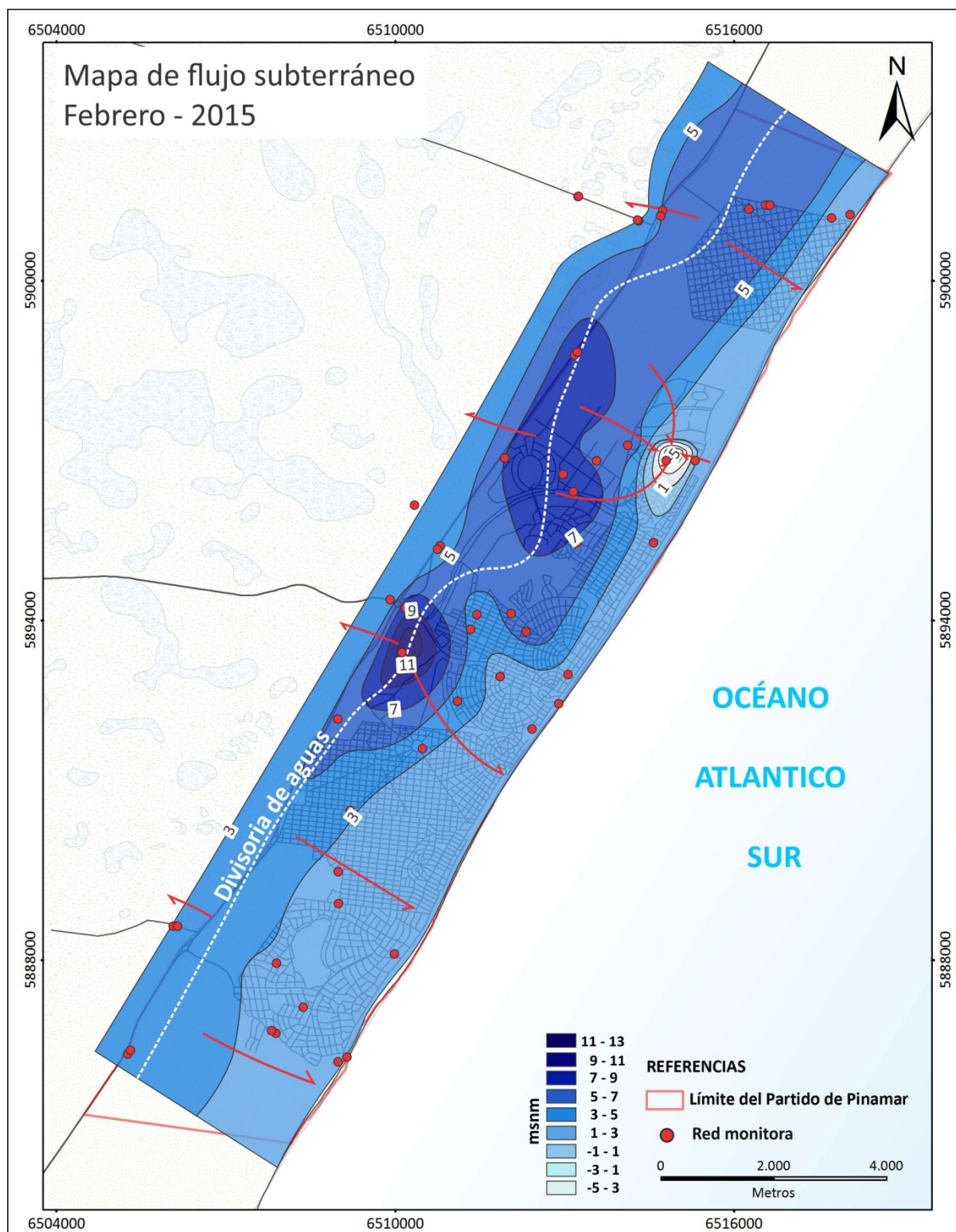
Mapa N° 6. Mapa de flujo subterráneo para el mes de agosto de 2013.



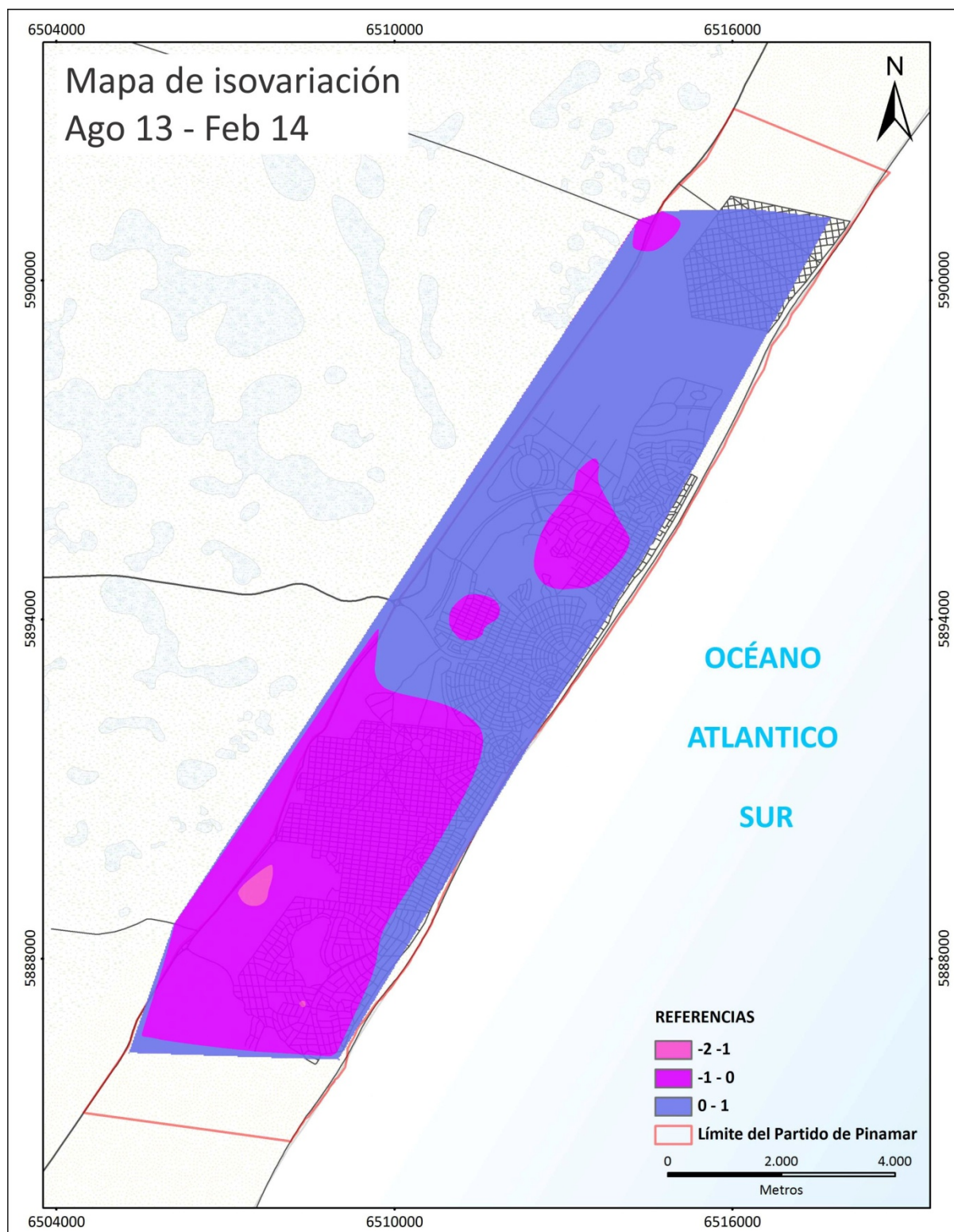
Mapa N° 7. Mapa de flujo subterráneo para el mes de febrero de 2014.



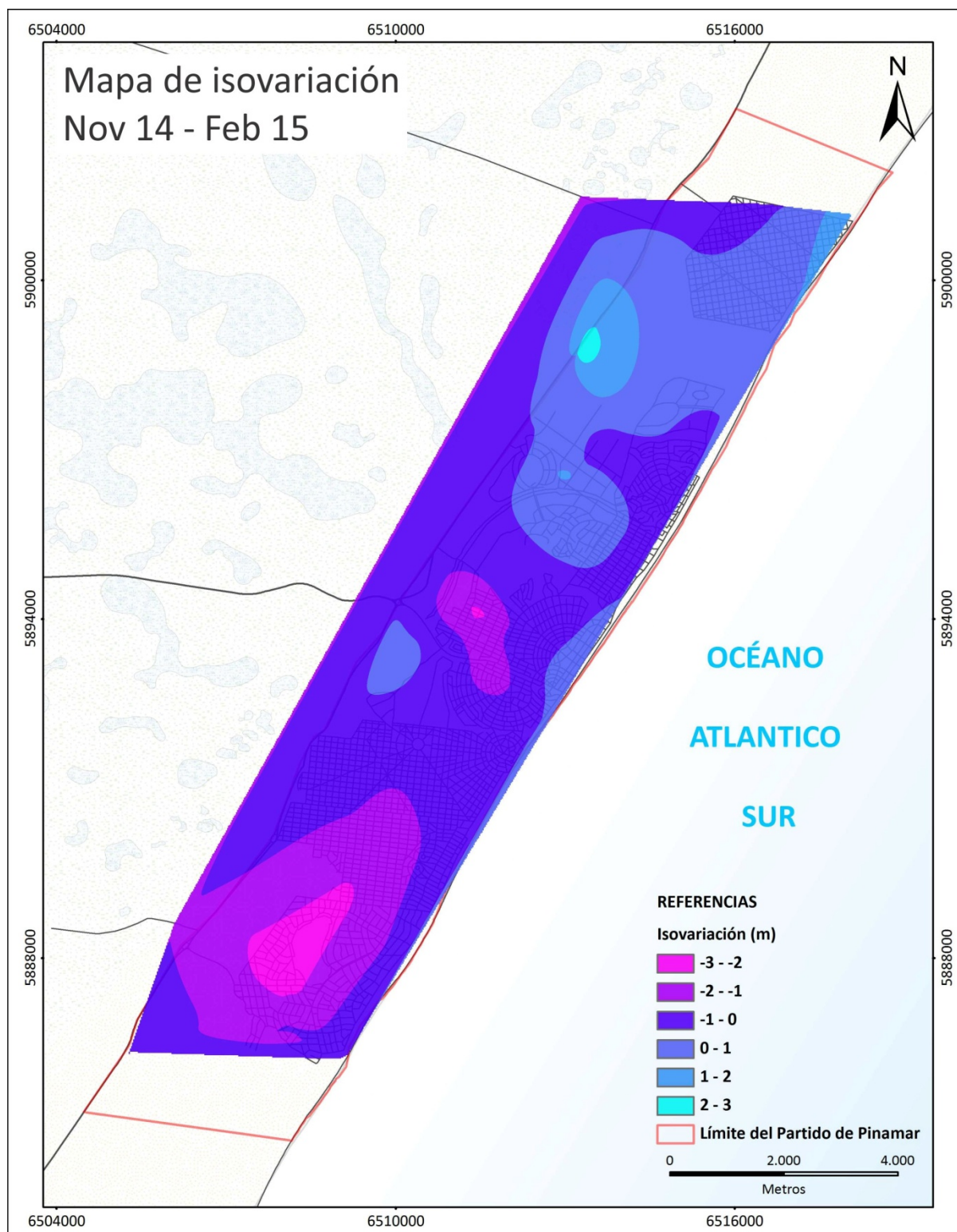
Mapa N° 8. Mapa de flujo subterráneo para el mes de agosto de 2014.



Mapa Nº 9. Mapa de flujo subterráneo para el mes de febrero de 2015.



Mapa N° 10. Mapa de isovariaciones para el semestre comprendido entre los meses de agosto de 2013 y febrero 2014.



Mapa N°11. Mapa de isovariaciones para el trimestre comprendido entre los meses de noviembre de 2014 y febrero 2015.



MUESTREOS HIDROQUÍMICOS

(Resultados de los análisis físico químicos, diagramas de Schoeller Berkloff, mapas de isocontenido y de relaciones iónicas)



RESULTADOS DE LOS ANALISIS FISICO-QUÍMICOS - CENSO HIDROQUÍMICO NOV/2014

NOMBRE	CE	pH	SDT	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺	Mg ⁺⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	Fe total	Mn ⁺⁺	As	F ⁻
Unidad	(μS/cm)	(U. pH)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(μg/l)	(mg/l)
PO1	337	7,78	169,00	21,4	1,5	160,0	25,1	2,10	4,0	14,5	1,22	<0,01	<0,1	0,10	<0,05	<5	0,50
PE2	371	7,75	186,00	19,0	2,4	195,0	19,4	9,60	17,3	19,4	0,24	<0,01	<0,1	0,07	<0,05	<5	<0,05
PE3	599	7,47	299,00	27,7	30,9	305,0	91,0	7,70	19,6	18,3	0,35	<0,01	<0,1	0,10	<0,05	<5	<0,05
PE4	360	7,76	180,00	10,8	1,6	215,0	55,2	4,50	7,3	8,1	0,46	<0,01	<0,1	0,08	<0,05	<5	<0,05
PE5	627	7,63	314,00	34,8	19,1	265,0	58,5	11,90	28,0	23,4	4,10	<0,01	<0,1	<0,01	<0,05	<5	<0,05
PE6	638	7,57	320,00	18,1	3,5	320,0	89,3	4,80	24,4	25,7	0,94	<0,01	<0,1	<0,01	<0,05	<5	<0,05
CSVN	3513	7,89	1760,00	1005,0	88,6	645,0	747,0	7,70	11,5	9,3	7,20	<0,01	<0,1	0,30	<0,05	<5	<0,05
P13	267	7,58	134,00	14,8	0,5	175,0	45,5	3,90	12,0	5,0	0,20	<0,01	<0,1	0,50	<0,05	<5	<0,05
P2	581	8,00	290,00	18,9	3,7	265,0	66,6	7,70	10,8	12,9	0,32	<0,01	0,20	<0,01	<0,05	<5	<0,05
F40	573	7,51	286,00	28,8	23,8	250,0	56,9	9,90	20,9	18,7	1,00	<0,01	<0,1	0,10	<0,05	<5	<0,05
OS1	539	7,57	276,00	17,2	4,2	285,0	40,0	15,40	21,0	25,3	0,24	<0,01	<0,1	<0,01	<0,05	<5	<0,05
F41	614	7,41	307,00	15,1	28,7	305,0	59,9	14,80	20,5	17,7	3,30	<0,01	<0,1	0,05	<0,05	<5	<0,05
P34	1482	7,31	741,00	218,0	44,2	420,0	180,0	14,70	27,3	24,8	6,10	<0,01	0,30	0,08	<0,05	<5	<0,05
P22	623	7,56	312,00	50,5	19,6	235,0	41,6	11,80	18,5	20,3	1,60	<0,01	<0,1	0,09	<0,05	<5	<0,05
P30	1071	7,32	536,00	52,8	37,9	355,0	85,1	15,60	22,9	20,3	22,60	<0,01	<0,1	0,04	<0,05	<5	<0,05
P29	421	7,93	212,00	13,0	2,2	185,0	68,0	2,20	3,5	7,4	0,12	<0,01	<0,1	0,10	<0,05	<5	<0,05
CSC1	4740	7,86	2360,00	224,7	177,0	725,0	295,0	19,10	34,6	26,5	6,10	<0,01	0,30	0,01	<0,05	<5	<0,05
OF1	483	7,33	242,00	37,6	4,2	245,0	24,2	10,40	22,2	18,5	0,15	<0,01	<0,1	<0,01	<0,05	<5	<0,05
P24	345	7,78	172,00	17,2	2,6	145,0	26,5	4,10	5,6	9,4	0,06	<0,01	<0,1	0,01	<0,05	<5	<0,05
F39	935	7,46	468,00	91,4	46,7	145,0	38,5	12,40	24,1	17,8	7,17	<0,01	<0,1	<0,01	<0,05	<5	<0,05
F35	1033	7,08	516,00	9,1	120,5	300,0	47,6	19,60	33,0	27,4	0,37	<0,01	0,30	<0,01	<0,05	<5	<0,05
F19	358	7,52	179,00	9,2	2,1	380,0	88,4	6,50	9,5	12,4	0,19	<0,01	<0,1	<0,01	<0,05	<5	<0,05
P15	1404	7,10	704,00	122,0	27,9	185,0	81,8	16,60	32,1	27,9	2,59	<0,01	<0,1	<0,01	0,08	<5	<0,05
CSPN	1015	7,38	509,00	103,5	32,6	585,0	141,4	17,40	27,0	29,6	7,10	<0,01	0,20	<0,01	<0,05	<5	<0,05
P21	516	7,73	258,00	20,9	6,4	220,0	38,7	11,90	21,6	24,3	0,68	<0,01	<0,1	<0,01	<0,05	<5	<0,05
P35	700	7,32	350,00	26,8	3,7	350,0	77,7	20,10	25,5	27,6	0,48	<0,01	0,10	<0,01	<0,05	<5	<0,05
P12	640	8,11	321,00	25,0	1,7	265,0	45,9	16,60	22,1	25,4	0,63	<0,01	<0,1	<0,01	<0,05	<5	<0,05
FP12	1094	7,13	547,00	50,7	158,0	370,0	121,1	17,40	30,8	27,9	0,95	<0,01	0,30	0,07	<0,05	<5	<0,05
F36	2116	6,68	1058,00	72,8	3,5	1145,0	269,2	18,40	35,9	29,6	2,10	<0,01	0,20	0,03	0,20	<5	<0,05
P11	538	7,37	269,00	108,5	3,7	265,0	98,4	15,80	23,4	25,6	2,24	<0,01	<0,1	0,03	<0,05	<5	<0,05
CSMA1	1092	7,20	546,00	79,7	6,3	510,0	113,6	20,40	30,4	27,8	1,26	<0,01	<0,1	<0,01	<0,05	<5	<0,05
FP3	770	7,29	385,00	48,1	8,7	315,0	98,9	14,40	26,2	28,6	0,76	<0,01	<0,1	0,02	<0,05	<5	<0,05
CSMO	1095	8,07	548,00	128,0	11,3	360,0	158,0	9,50	12,0	17,6	1,33	<0,01	0,20	0,07	<0,05	14,80	0,06
P8	393	7,71	196,00	13,1	4,5	210,0	46,4	8,70	19,0	22,3	0,17	<0,01	<0,1	<0,01	<0,05	<5	<0,05
CSMA2	1234	7,31	616,00	86,7	18,3	575,0	139,8	11,60	27,9	24,6	1,36	<0,01	0,40	0,05	<0,05	<5	<0,05
P33	906	7,56	452,00	109,8	33,2	305,0	143,1	15,60	34,7	30,4	1,09	<0,01	<0,1	0,05	<0,05	<5	<0,05
P37	1126	7,40	563,00	94,4	13,9	510,0	114,1	12,30	29,9	26,4	1,13	<0,01	0,10	<0,01	<0,05	<5	<0,05
P5	334	7,87	167,00	21,0	2,7	135,0	39,4	10,20	14,1	12,6	0,09	<0,01	<0,1	<0,01	<0,05	9,00	<0,05
P3	354	7,92	177,00	19,2	0,5	150,0	35,6	7,20	12,6	17,4	0,09	<0,01	<0,1	<0,01	<0,05	10,00	<0,05
P7	350	7,76	169,00	14,8	0,5	135,0	27,8	7,60	13,8	9,9	0,09	<0,01	<0,1	0,05	<0,05	10,70	<0,05
P31	865	7,45	432,00	89,3	21,7	330,0	79,2	11,00	23,6	26,7	1,37	<0,01	<0,1	<0,01	<0,05	<5	0,06
FP7	638	7,54	320,00	27,9	58,3	335,0	80,1	12,60	20,8	24,7	0,28	<0,01	<0,1	0,02	<0,05	<5	<0,05
F5-P5	613	7,62	307,00	30,2	4,8	250,0	72,5	9,70	19,7	22,4	14,50	<0,01	0,10	<0,01	<0,05	<5	<0,05
FP33	1018	7,31	510,00	97,6	17,5	415,0	116,8	14,60	27,1	29,4	1,59	<0,01	0,10	<0,01	<0,05	<5	<0,05
CSMA3	752	7,15	367,00	25,2	3,0	405,0	89,5	10,40	21,3	24,6	0,68	<0,01	<0,1	<0,01	<0,05	<5	<0,05
F42	1602	7,16	800,00	161,1	198,6	540,0	205,9	20,30	35,6	31,4	10,70	<0,01	<0,1	0,03	0,05	<5	<0,05
CSC2	1208	7,36	604,00	69,4	19,1	315,0	15,0	16,90	41,4	33,4	137,40	0,02	0,20	<0,01	<0,05	<5	<0,05
P18	344	8,17	173,00	18,4	5,9	130,0	45,5	9,80	16,0	21,4	3,62	<0,01	<0,1	<0,01	<0,05	<5	<0,05
F43	782	7,26	391,00	52,7	41,3	325,0	111,2	11,20	22,6	24,3	1,56	<0,01	0,10	<0,01	<0,05	<5	<0,05
P10	803	7,54	401,00	66,2	15,4	350,0	111,9	12,30	24,6	22,6	1,44	<0,01	0,20	0,07	<0,05	<5	<0,05
CSP	6080	7,70	3030,00	355,8	159,9	450,0	488,9	25,60	40,0	37,8	42,50	<0,01	0,40	0,50	<0,05	9,40	<0,05
F38	514	7,57	257,00	50,6	20,0	255,0	61,4	9,60	15,0	21,4	0,61	<0,01	<0,1	0,10	<0,05	<5	<0,05
CSCALP	623	7,55	315,00	32,0	17,1	305,0	90,9	14,70	22,0	19,6	1,00	<0,01	<0,1	<0,01	<0,05	<5	<0,05
P14	709	8,31	354,00	39,3	9,6	360,0	91,1	7,70	11,1	17,0	0,84	<0,01	0,20	<0,01	<0,05	27,00	0,06

RESULTADOS DE LOS ANALISIS FISICO-QUÍMICOS - CENSO HIDROQUÍMICO MAR/2012



NOMBRE	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺	Mg ⁺⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻
Unidad	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
P-8	81	5,30	305,00	125,4	5,3	18,9	10,4	1,00	0,0
P-2	15,2	5,3	395	130,1	15,5	9,7	5,7	2,1	0
P-11	13	7,20	320,00	105,9	5,7	7,3	7,7	2,60	0,0
P-21	36,9	4,7	295	110,8	4,9	9,5	6,7	0,8	0
P-31	43	9,30	415,00	150,1	6,7	13,2	10,3	4,20	0,0
P-29	224	5,3	275	207,7	3,8	9,7	16	1,5	0
P-35	56	3,90	420,00	164,2	3,6	6,5	11,9	2,40	0,0
P-35'	34,7	4,3	465	177,2	5,1	7,5	5,8	1,5	0
P-34	155	28,30	490,00	260,4	5,2	21,6	5,3	5,80	0,0
P-24	17,5	6	245	80,4	5,3	8,1	7,1	0,9	0
P-30	57	11,20	440,00	174,8	5,7	18,0	4,9	19,00	0,0
P-14	21,9	3,4	505	193	3,2	5,5	2,9	3,3	0
P-22	41	11,40	320,00	116,2	6,9	13,3	9,1	3,30	0,0
P-19	12,7	2,8	290	90,8	7,1	11,4	5,8	0,9	0
P-12	15	1,80	365,00	122,3	2,7	11,4	5,8	1,70	0,0
P-5	11,1	5,1	220	70,2	3	9,7	5	0,6	0
F5- P5	26	3,40	265,00	86,8	4,8	10,1	9,3	6,00	0,0
P-7	11,5	4,5	235	78,5	2	10,2	3,6	1	0
P-3	13	4,70	245,00	87,1	3,3	5,9	3,8	1,00	0,0
P-15	65,7	11	835	313,5	7,2	28,5	6,4	5,1	0
OF-1	15	5,10	330,00	104,2	6,9	14,1	7,3	1,70	0,0
OS-1	18,1	6,4	380	129,7	5,5	9,8	7,7	2,1	0
P-33	67	11,90	360,00	154,5	5,0	14,0	5,9	2,30	0,0
F-36	14	6,8	1075	376	5,7	15,8	10,2	3,9	0
F-37	23	2,80	675,00	227,0	4,2	24,2	7,1	4,30	0,0
F-38	5,8	2,6	340	107,4	3,9	9,9	6,5	2	0
F-39	45	20,90	335,00	129,3	7,1	11,4	9,9	23,60	0,0
F-40	13	23,2	325	110,6	5,1	10,1	8,9	5,8	0
F-41	15	19,20	370,00	117,3	4,8	17,0	10,0	24,70	0,0
F-42	51,8	52,7	790	274,1	12,4	22,4	26	29,1	0
Madariaga	2441	405,00	525,00	1836,1	18,9	42,5	40,7	80,50	0,1

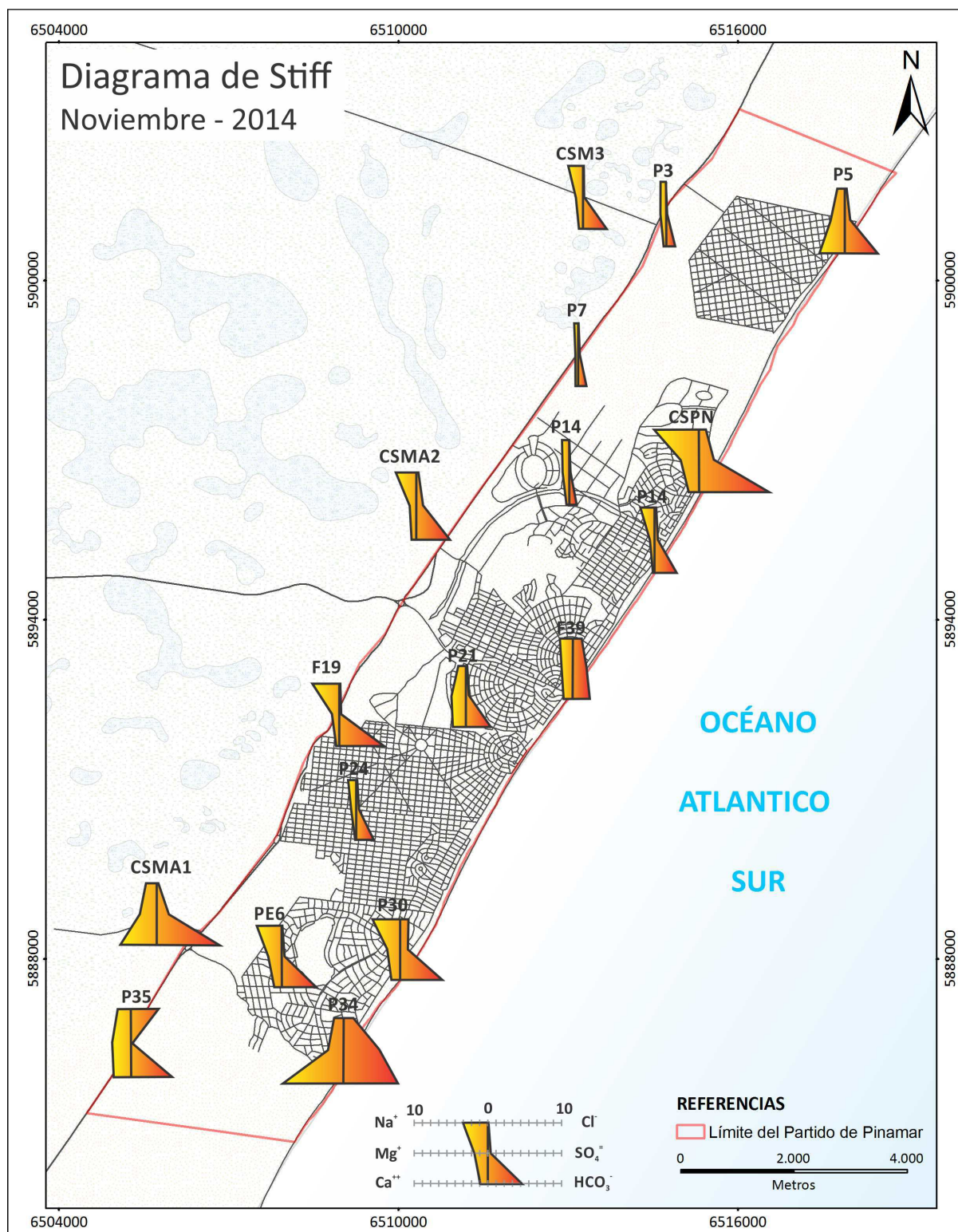
RESULTADOS DE LOS ANALISIS FISICO-QUÍMICOS - CENSO HIDROQUÍMICO NOV/2011

NOMBRE	CE	pH	SDT	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺	Mg ⁺⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	Fe total	Mn ⁺⁺
Unidad	(μS/cm)	(U. pH)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
OS1	538	7,78	262,00	6,4	8,6	290,0	46,4	3,20	52,0	5,0	19,90	0,00	0,11	0,68	0,06
OF1	409	7,57	204,00	4,3	7,8	235	37,3	2,40	43,1	3,6	16,9	0,01	0,14	0,25	0
P2	487	8,09	262,00	5,7	9,8	295,0	111,6	4,80	3,0	0,9	13,80	0,01	0,16	0,29	0,00
P3	335	7,66	163,00	5	3,6	185	41,1	5,30	14,6	7,2	12,6	0,14	0,08	0,77	0,03
P5	299	7,56	153,00	4,8	6,6	170,0	40,4	5,00	16,2	4,4	10,50	0,18	0,09	1,03	0,16
F5-P5	482	7,65	242,00	11,3	9,4	215	18,4	3,80	53,1	5,9	18,5	0	0,13	0,24	0,03
P7	326	7,62	159,00	4,4	6,8	190,0	50,9	5,10	13,3	4,5	10,30	0,18	0,07	0,25	0,02
P8	397	7,53	203,00	5,7	12,9	220	29,6	2,30	49,0	2,9	11,9	0	0,11	0,26	0,31
P11	485	7,40	238,00	7,8	7,4	240,0	26,9	3,40	53,4	4,6	11,50	0,00	0,13	0,43	0,00
P12	434	7,59	213,00	5,7	3,1	245	74,5	5,10	8,5	5,4	9,9	0,14	0,01	0,25	0,05
P14	751	8,12	382,00	7,1	16,6	420,0	159,8	5,30	3,3	2,2	14,60	0,00	0,00	0,70	0,01
P15	1293	7,07	633,00	22	39,5	625	123,7	3,60	101,2	14,0	15,1	0	0	0,21	1,28
P19	353	7,39	168,00	4,5	5,3	195,0	46,6	4,50	20,9	3,0	10,60	0,00	0,02	0,21	0,00
P21	407	7,62	203,00	5	11,3	215	48,2	4,50	26,5	4,4	9,5	0	0,04	0,09	0
P22	587	7,45	283,00	12,8	21,7	245,0	52,6	5,10	29,9	11,1	11,90	0,00	0,03	0,11	0,12
P24	316	7,47	158,00	4,3	2,3	185	34,5	4,80	29,1	1,5	9,4	0,04	0	0,14	0
P29	360	7,70	180,00	4,7	2,9	195,0	48,9	5,60	11,3	6,7	9,90	0,00	0,03	0,11	0,07
P30	787	7,29	395,00	15,6	39,9	345	53,9	5,50	65,4	14,2	16,6	0	0,04	0,27	0
P31	804	7,37	402,00	19,9	16,4	340,0	64,1	5,00	58,0	8,0	11,50	0,00	0,03	0,08	0,07
P33	720	7,48	360,00	22	19,7	285	29,6	3,80	72,8	8,2	8,7	0	0,03	0,09	0,46
P34	1458	7,28	729,00	55,3	64,6	390,0	64,1	5,20	94,8	19,8	19,90	0,00	0,05	0,00	0,77
P35	648	7,29	324,00	11,3	4,6	325	48,5	4,60	58,6	7,1	13,5	0,04	0	0,04	0,05
P35'	632	7,08	316,00	6,4	7,2	340,0	28,6	2,30	84,4	4,6	12,10	0,00	0,03	0,14	0,20

RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN EL ILPLA - SERIE NITROGENADA SEP/2013



MUESTRA	NITRATO	NITRITO	AMONIO	NITRATO	NITRITO	AMONIO
Profundidad	mg N.l ⁻¹	mg N.l ⁻¹	mg N.l ⁻¹	mg NO ₃ l ⁻¹	mg NO ₂ l ⁻¹	mg NH ₄ l ⁻¹
F40 (10 m)	1,776	0,026	0,109	7,868	0,085	0,140
F40 (20m)	0,879	0,003	0,047	3,895	0,011	0,060
F41 (6 m)	3,197	0,010	0,001	14,163	0,033	0,001
F42 (3 m)	4,767	0,083	<0,001	21,118	0,273	<0,001
P3 (5 m)	0,278	0,005	0,001	1,232	0,016	0,001
P3 (10 m)	0,032	0,002	0,080	0,142	0,007	0,103
P3 (15 m)	0,078	0,001	0,167	0,347	0,005	0,214
P7 (10 m)	0,025	<0,001	0,164	0,110	<0,001	0,211
P7 (15 m)	0,018	0,002	0,104	0,080	0,007	0,134
P7 (5m)	0,061	0,002	0,056	0,268	0,007	0,072
P11 (7m)	1,602	0,008	<0,001	7,097	0,028	<0,001
P11 (13 m)	0,498	0,032	0,021	2,206	0,105	0,027
F12 (6 m)	0,274	0,068	0,087	1,214	0,222	0,112
P12 (10 m)	0,096	0,078	0,017	0,425	0,256	0,022
F39 (3 m)	3,126	0,002	<0,001	13,847	0,007	<0,001
F40 (15 m)	1,791	0,012	0,180	7,933	0,038	0,232
FP12 (4m)	0,303	<0,001	<0,001	1,341	<0,001	<0,001
P12 (15 m)	0,057	0,071	0,128	0,252	0,232	0,165
P19 (7m)	0,142	0,002	0,009	0,631	0,007	0,012
P19 (12m)	0,278	0,002	0,001	1,230	0,006	0,001
P19 (20m)	0,107	0,001	0,143	0,473	0,003	0,184
P22 (8m)	0,053	0,017	0,013	0,237	0,056	0,016
P29	0,117	0,001	0,213	0,520	0,005	0,274
P30 (5m)	7,786	<0,001	<0,001	34,491	<0,001	<0,001
P30 (15m)	7,764	0,055	0,053	34,396	0,181	0,068
P34 (3m)	0,580	0,010	0,006	2,571	0,033	0,007
P34 (9m)	0,577	0,001	0,036	2,555	0,003	0,046
BSI	7,860	0,012	0,037	34,822	0,040	0,048
F36 (3m)	1,178	0,001	0,104	5,220	0,002	0,134
P31 (6,20)	0,239	<0,001	0,050	1,057	<0,001	0,064
P31 (12m)	0,199	<0,001	0,030	0,883	<0,001	0,038
P31 (20m)	0,239	<0,001	0,036	1,057	<0,001	0,047
P35 (4m)	0,456	0,049	0,013	2,019	0,162	0,016
P35 (10m)	0,395	0,002	0,036	1,751	0,005	0,046
FP33 6,20	0,271	<0,001	0,000	1,199	<0,001	0,000
P33 (8m)	0,199	<0,001	<0,001	0,883	<0,001	<0,001
P24 (11m)	0,274	<0,001	0,013	1,214	<0,001	0,017
P24 (13m)	0,274	0,001	<0,001	1,214	0,002	<0,001
P24 (18m)	0,185	0,001	0,128	0,820	0,005	0,165
P21 (10 m)	0,395	0,001	<0,001	1,750	0,003	<0,001
F37	0,530	0,001	0,019	2,350	0,002	0,025
P35'	0,360	0,001	0,126	1,593	0,003	0,162
P8	0,239	0,001	0,004	1,057	0,003	0,005
P13	0,171	0,001	<0,001	0,757	0,004	<0,001
P14	0,591	0,006	<0,001	2,618	0,019	<0,001
OFl	0,491	0,002	0,085	2,176	0,005	0,109
P15 (4m)	1,075	<0,001	0,094	4,763	<0,001	0,121
FP3 (3 m)	0,153	0,002	0,112	0,678	0,007	0,144
FP7 (3m)	0,199	<0,001	<0,001	0,883	<0,001	<0,001



Mapa N°12. Diagramas poligonales de Stiff para el Partido de Pinamar. (Censo de muestreo hidroquímico 2014).



DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

SECTOR COSTERO

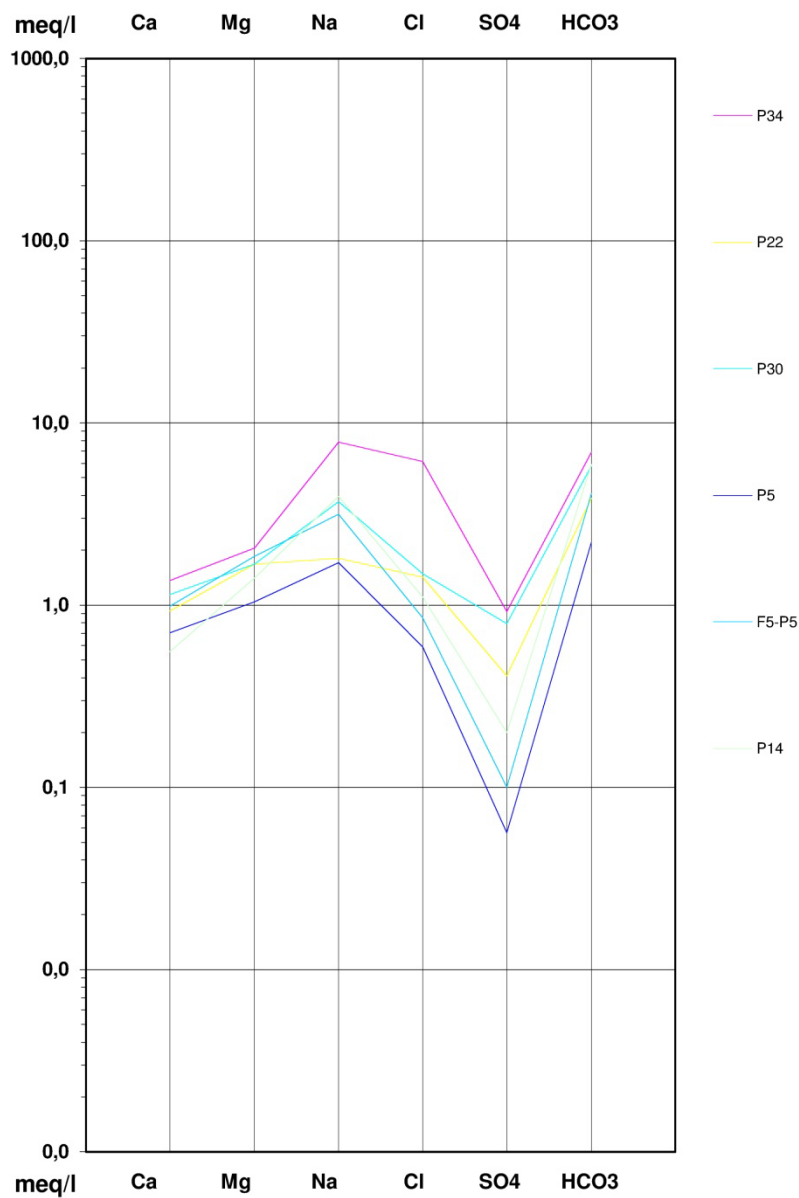


Figura A7. Diagrama de Schoeller – Berkaloff para el grupo costero. (Censo de muestreo hidroquímico 2014)



DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

SECTOR CENTRAL

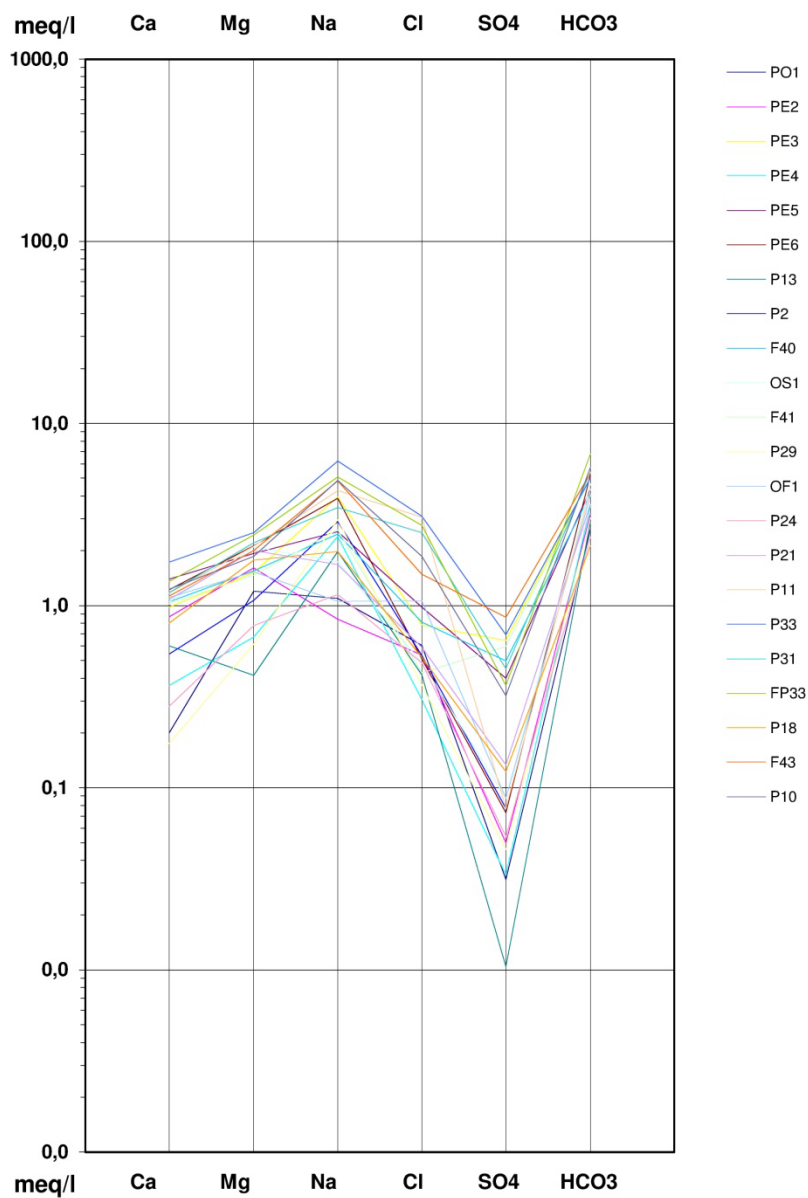


Figura A8. Diagrama de Schoeller – Berkaloff para el grupo central. (Censo de muestreo hidroquímico 2014)



DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

SECTOR OESTE

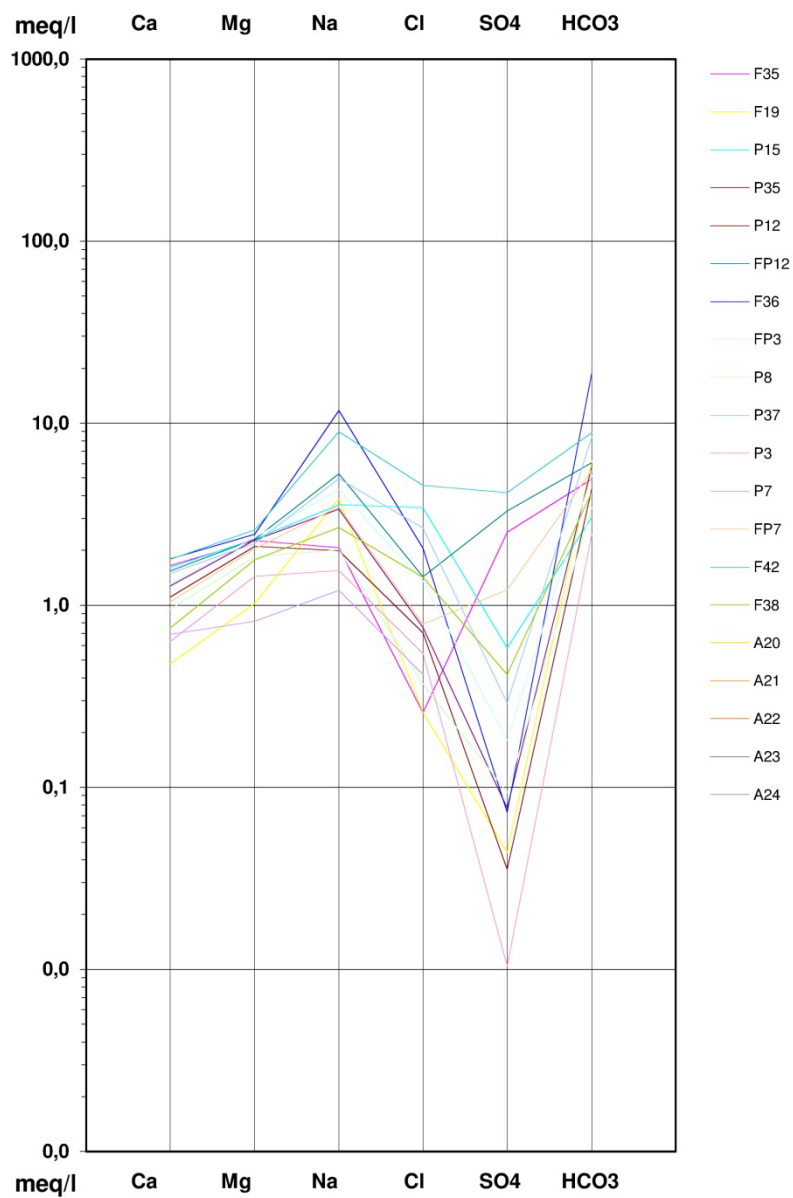
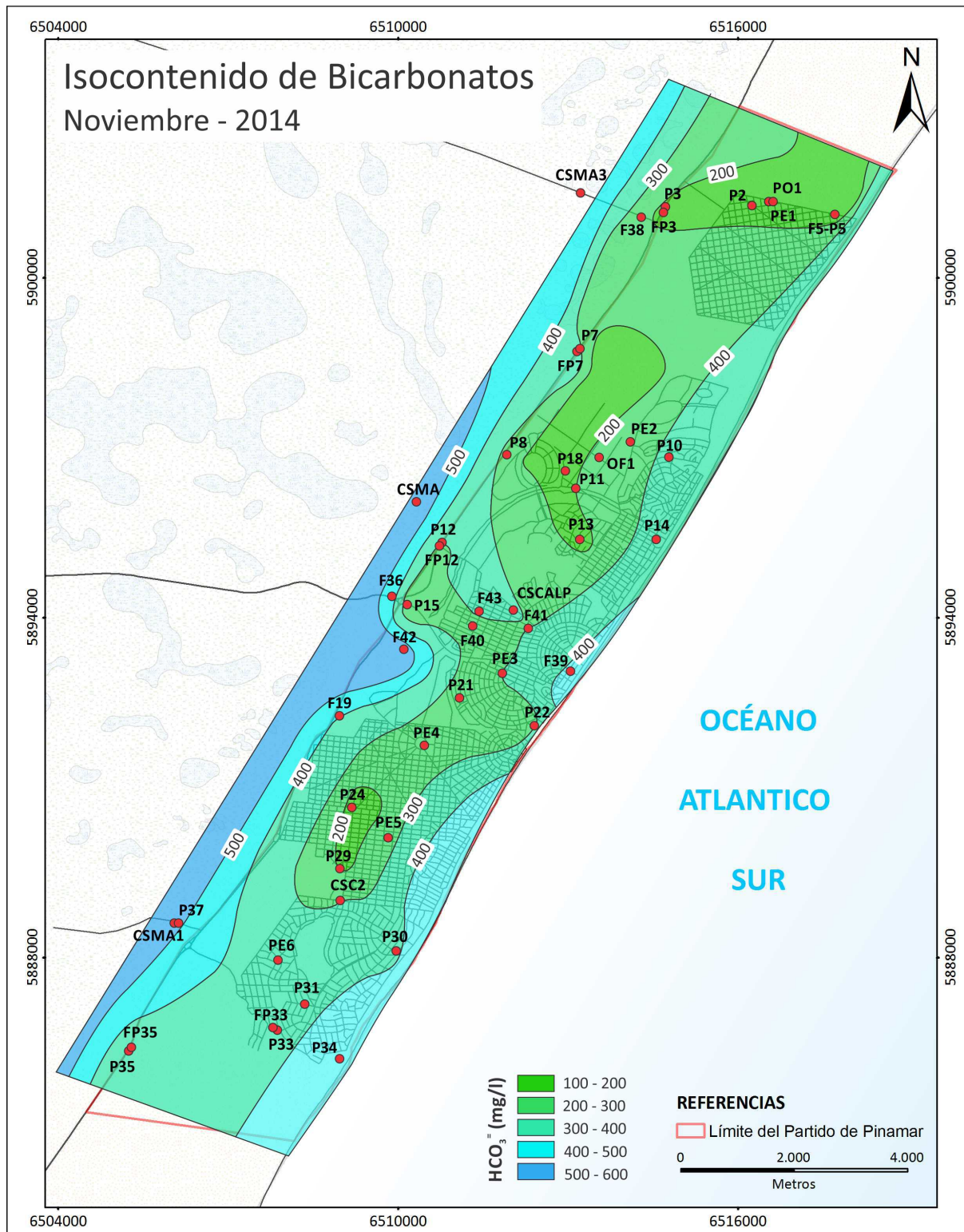
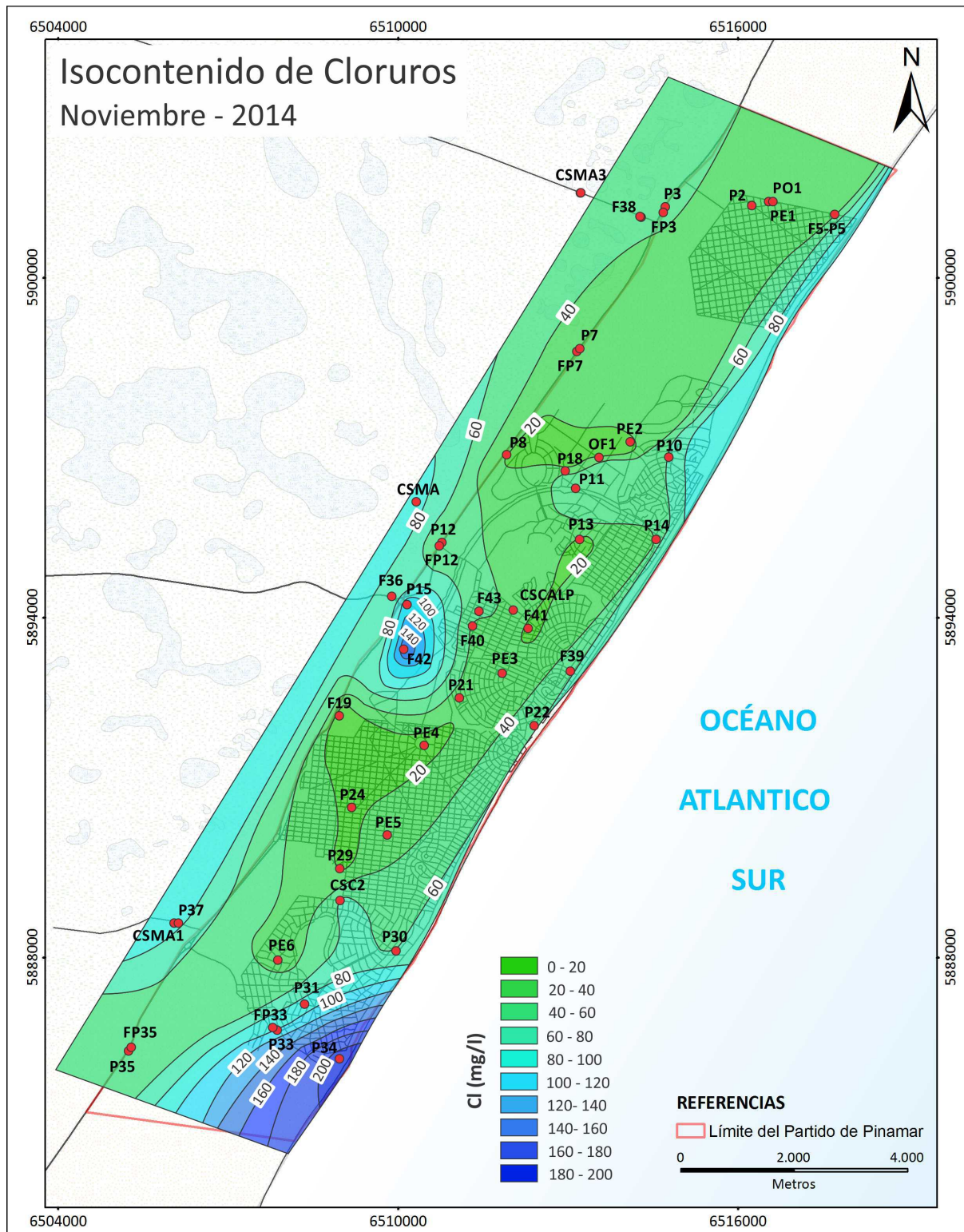


Figura A8. Diagrama de Schoeller – Berkaloff para el grupo costero. (Censo de muestreo hidroquímico 2014)

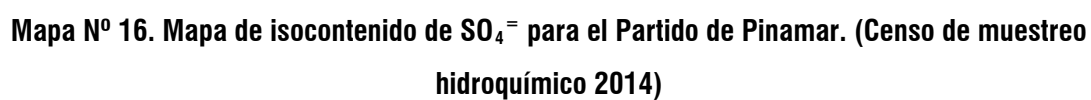


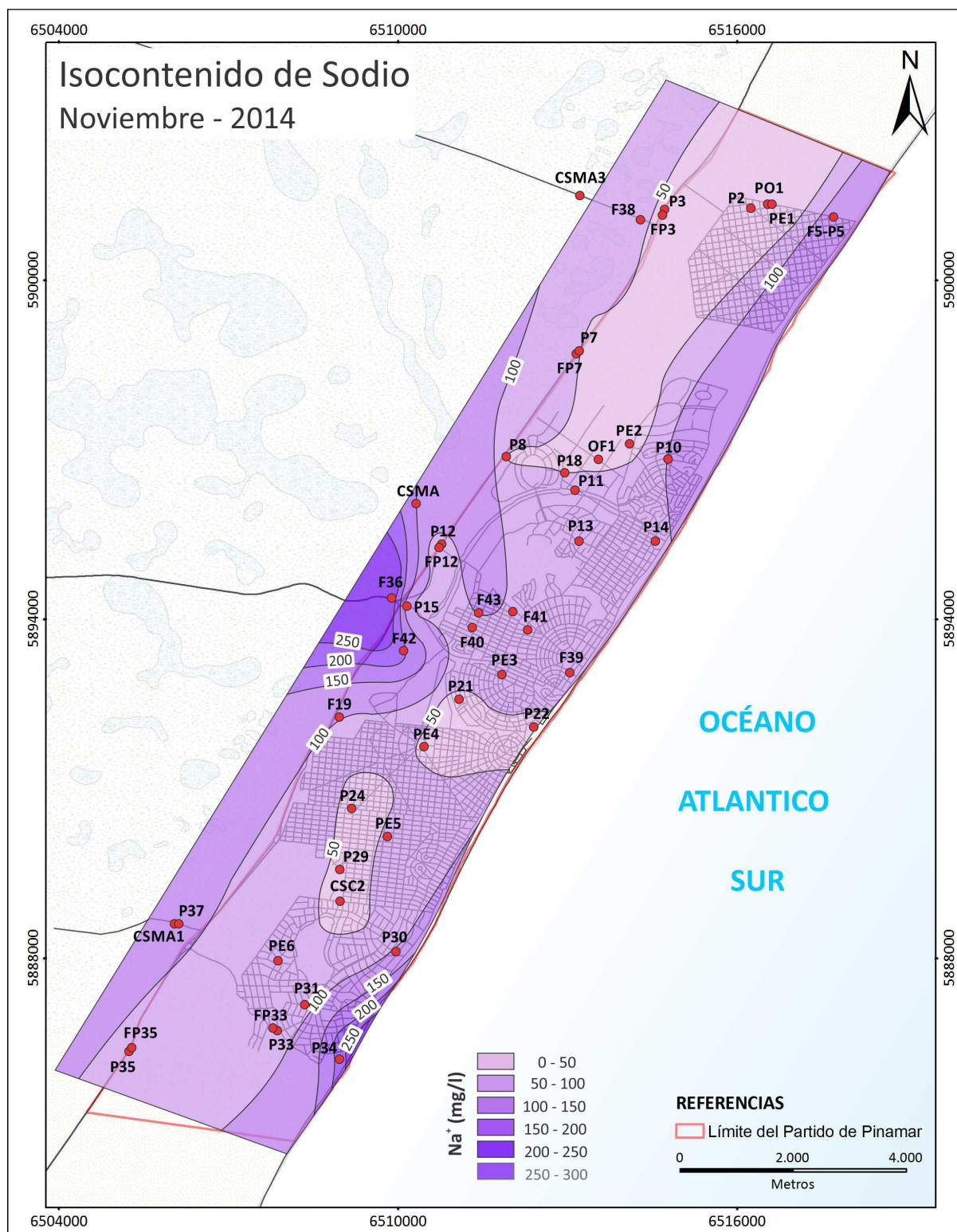


Mapa N°14. Mapa de isocontenido de HCO₃⁻ para el Partido de Pinamar. (Censo de muestreo hidroquímico 2014)

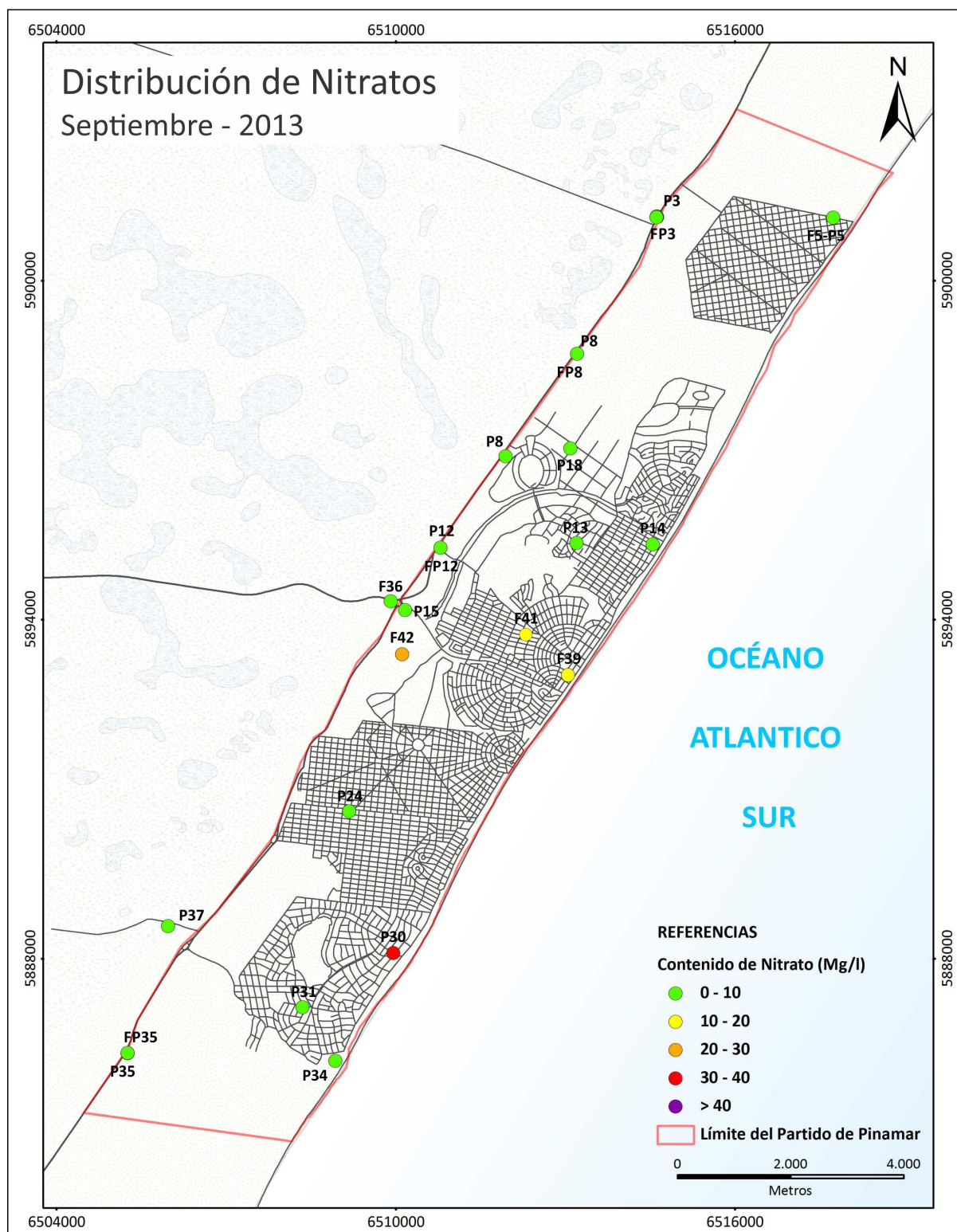


Mapa N°15. Mapa de isocontenido de Cl⁻ para el Partido de Pinamar. (Censo de muestreo hidroquímico 2014)

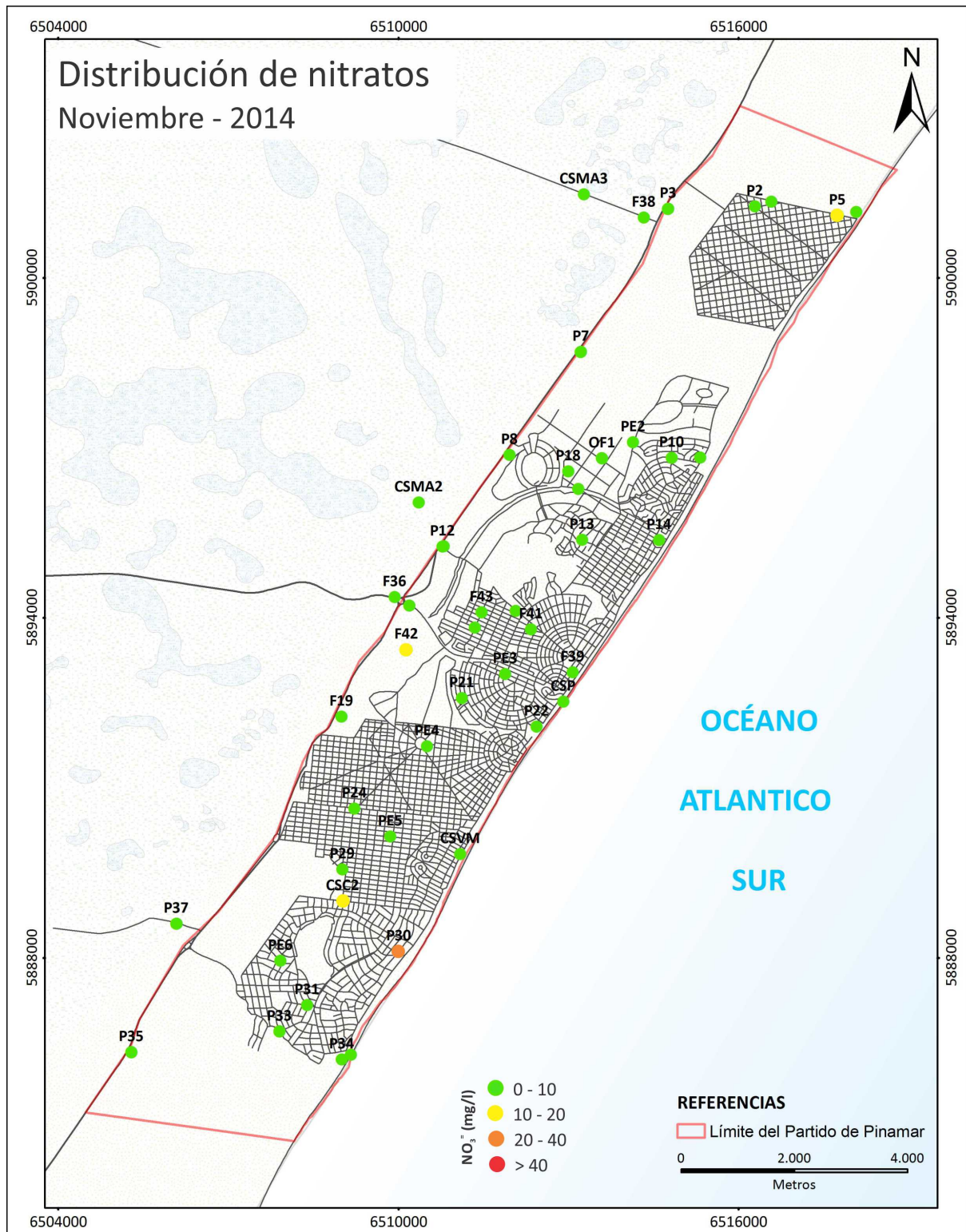




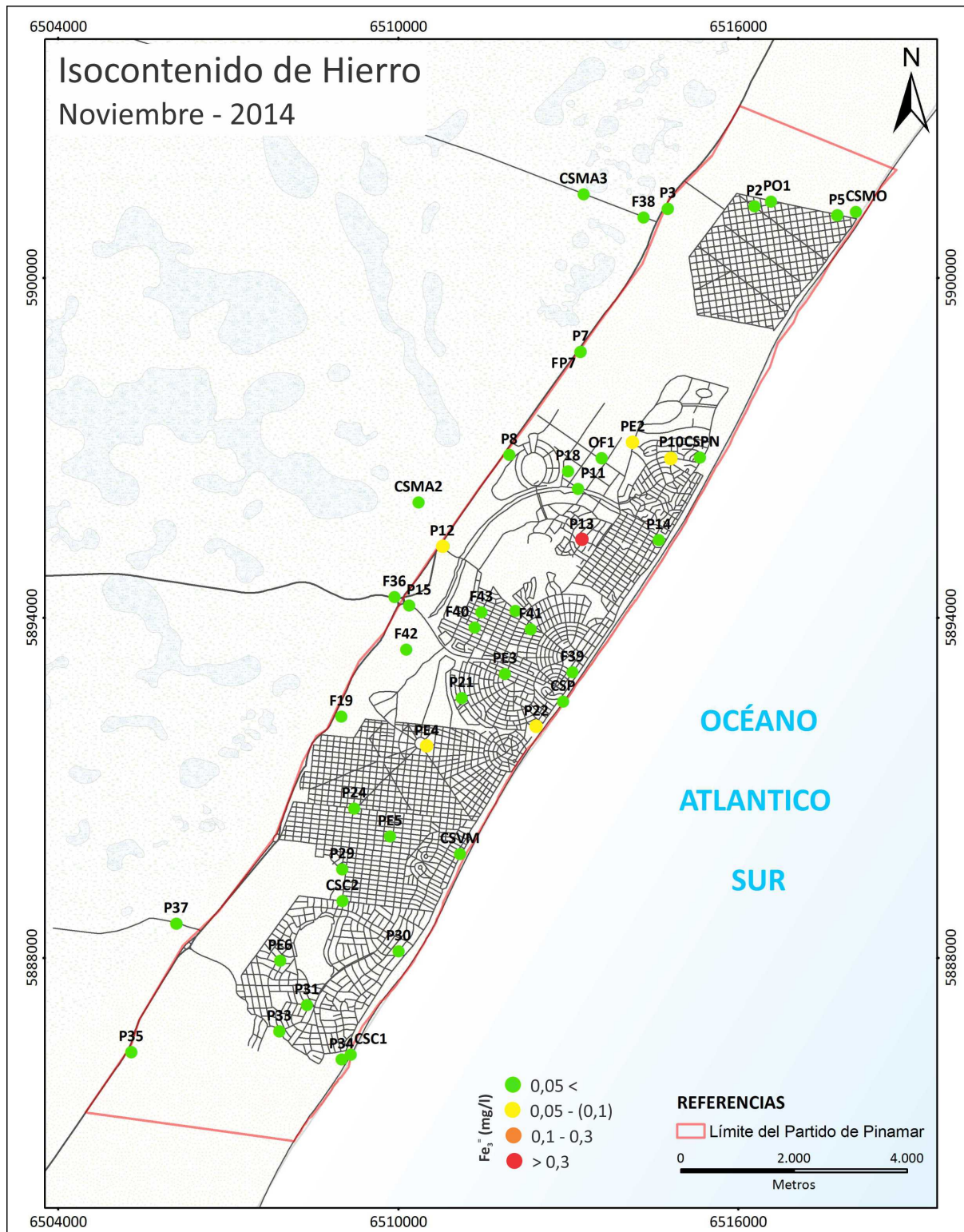
Mapa N°17. Mapa de isocontenido de Na⁺ para el Partido de Pinamar. (Censo de muestreo hidroquímico 2014)



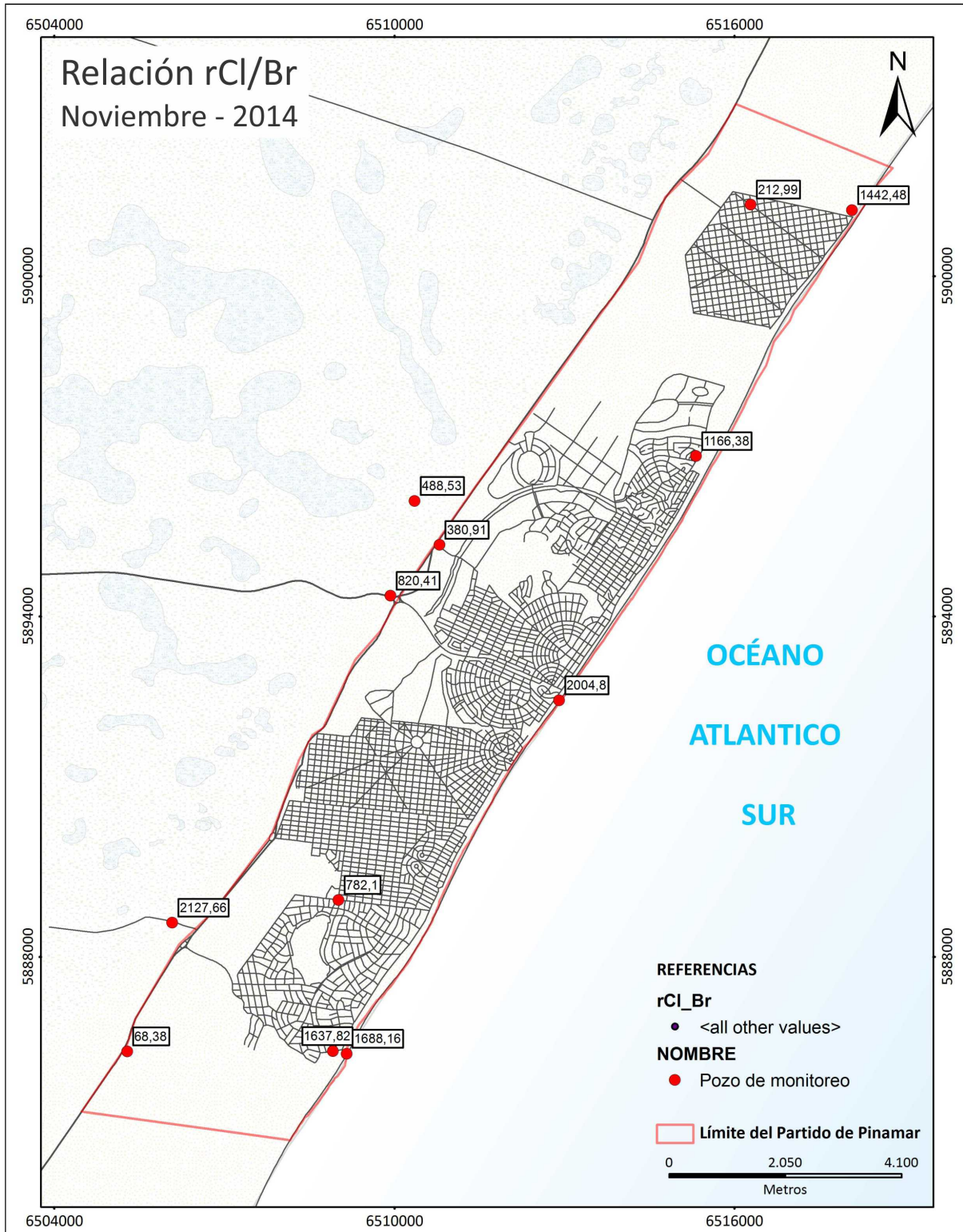
Mapa N°18. Mapa de isocontenido de NO_3^- para el Partido de Pinamar. (Censo de muestreo hidroquímico 2013)



Mapa N°19. Mapa de isocontenido de NO₃⁻ para el Partido de Pinamar. (Censo de muestreo hidroquímico 2014)



Mapa N°20. Mapa de isocontenido de Fe total para el Partido de Pinamar. (Censo de muestreo hidroquímico 2014)



Mapa Nº21. Distribución de la relación rCl/Br en el partido de Pinamar (Censo de muestreo hidroquímico noviembre de 2014).